

유증건조를 이용한 천안시 열건조물의 고품연료화 공정 연구

박소연^{1*}, 김상빈², 하진욱²

¹(주)케이피, ²순천향대학교 화학공학·환경공학과

A Study on the RDF making Process of Heat-dried Sludge from Cheonan by using Oil-drying Method

So-yeon Park^{1*}, Sang-bin Kim², Jin-wook Ha²

¹KP CO.. LTD

²Devison of Chemical & Environmental Engineering, Soonchunhyang University

요약 본 연구에서는 천안시 병천 하수종말처리장의 ‘열건조물’로 고품연료를 제조하기 위하여 유증건조 공정의 최적 조건을 선정하는 연구를 수행하였다. 연구결과물의 특성을 평가하기 위하여 130℃, 160℃, 190℃의 온도조건에서 ‘유증발량 측정 실험’ 및 ‘열건조물의 유증건조 실험’을 수행하였으며, 칼로리미터와 TGA 장비를 이용하여 고품연료의 성능을 측정하였다. 또한 휴대용 복합악취측정기를 이용하여 유증건조 중 복합악취, 암모니아, 황화수소 및 총 휘발성 유기화합물의 발생농도를 측정하고, EDS 장비를 이용하여 성분분석 연구를 수행하였다. 대량생산을 고려하여 기름과 열건조물의 무게비를 입의 비율인 4:1로 고정하였고, 130℃에서는 일부 내부수의 순간적인 건조 이후 기름과 열건조물의 물리적인 혼합만이 진행된다고 판단된다. 환경 친화적인 측면을 고려하였을 때, 160℃와 190℃의 건조효율에 큰 차이가 없으므로 160℃의 건조온도에서 5분 이내로 처리하는 것을 최적 조건으로 선정하였다. 본 연구에서 제조한 고품연료의 신뢰성을 확보하기 위해 화력발전소 현장연료와의 성능비교 연구를 진행한 결과 발열량 4,449kcal/kg, 함수율 2%, 회분함량 34%로 현재 사용 중인 현장연료보다 대체로 우수한 성능을 나타내었으므로 기존의 목재펠릿 뿐만 아니라 석탄에너지 또한 충분히 대체할 수 있을 것이라 판단된다.

Abstract This study examined the optimal manufacturing conditions of RDF using heat-dried sludge from sewage treatment plant in Cheonan with the oil-drying method. The amounts of oil evaporation and oil drying of the heat-dried sludge were measured at different temperatures to evaluate the value of the product. The performance of the product was then measured using a calorimeter and TGA. In addition, the concentration of odor, NH₃, H₂S, and TVOC during drying was determined using a portable odor-meter. Ingredient analysis was performed by EDS. Considering mass-production, the oil to heat-dried sludge weight ratio was fixed to 4:1. At 130℃, only physical mixing occurred after the instantaneous drying of internal water. Considering the eco-friendly aspects, there was no significant difference in the drying efficiency between 160℃ and 190℃. Therefore, the optimal conditions were a drying temperature of 160℃ within 5 minutes. Finally, the RDF manufactured in this study and fuel used in the thermal power plants were compared. The calorific value was 4,449kcal/kg, the water content was 2% and the ash content was 34%, which is higher than the fuel of thermal power plants. Therefore, it is believed that coal energy as well as wood pellets can be replaced.

Keywords : Heat-dried sludge, Mass-production, Oil-drying, Optimal manufacturing conditions, RDF

본 논문은 중소기업청 산학연협력 연구마을 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : So-yeon Park(KP co..LTD)

Tel: +82-41-530-1662 email: thdus2860@hanmail.net

Received November 16, 2017

Revised (1st December 11, 2017, 2nd January 10, 2018, 3rd January 19, 2018)

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

1. 서론

1.1 연구 배경

1.1.1 제도적 배경

1975년 8월 발효된 런던협약에 의해 2016년부터 국내 하수슬러지의 해양투기가 전면 금지되었고, 이에 따라 새로운 육상처리 방법의 기술개발이 절실했다. 또한 2015년 파리협정에서 2035년까지 온실가스 배출량의 5%를 줄이기로 합의함에 따라 석유 및 석탄에너지를 대신하는 신재생에너지의 필요성이 대두되었다. 이에 정부는 신 기후체제에 대응하기 위한 RPS제도(신재생에너지 의무할당제도)를 시행하였고, 이에 따라 국내 화력발전소에서는 신재생에너지 의무 할당량을 채우기 위해 목재펠릿을 수입하여 연간 2천억 원 이상의 국부가 유출되었으므로, 석유 및 석탄에너지를 대체하고, 목재펠릿의 수입을 대체할 수 있는 신재생에너지의 개발이 시급하다.

1.1.2 기술적 배경

국내 현안을 해결하기 위하여 각 지자체에서는 다양한 노력을 하고 있으며, 그 중 천안시 병천 하수종말처리장에서는 열 탄화방식을 이용한 하수슬러지의 고품연료화를 수행하고 있다. 그러나 처리한 탄화물의 발열량이 평균 2,000kcal/kg 정도로 고품연료로서의 가치가 낮다는 문제점이 있다^[1].

1.2 연구목표

본 연구에서는 천안시 병천 하수종말처리장의 열건조물에 유증건조 기술을 적용하여 발열량 4,200kcal/kg 이상, 함수율 5% 이내, 회분함량 35% 이내를 만족시키는 고품연료의 생산 공정을 확립하고자 한다.

또한 현재 화력발전소에서 사용 중인 연료와의 성능 비교를 통해 제조한 고품연료의 신뢰성을 확보하고자 한다.

2. 본론

2.1 실험 이론

2.1.1 유증건조법

유증건조법은 비열이 낮고 비중이 물보다 낮은 기름을 열전달 매체로 사용하여 슬러지의 내부수를 급속 증

발시키는 방법으로 함수율 10% 이내, 회분함량 15% 이내, 평균 발열량 4,500kcal/kg 이상의 고품연료를 얻을 수 있다. 함수율이 높고 점결성이 강한 슬러지 내의 수분을 제거할 수 있으며, 수분과 치환된 유류 자체의 열량을 추가로 얻을 수 있다는 장점이 있다^[1].

2.1.2 직접가열 탄화방식

1차적으로 열건조 공정을 통해 함수율을 약 10%까지 감소시킨 후, 무산소 상태에서 슬러지를 직접 가열하여 탄화시키는 방식으로 함수율 1~2%, 회분함량 65%, 평균 발열량 2,000kcal/kg의 탄화물을 얻을 수 있다^[1].

본 연구에서는 열건조 공정을 거친 후 탄화 공정으로 주입되기 이전의 슬러지 열풍건조물을 이용하였으며, 이를 ‘열건조물’이라 지칭하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 유증발량 측정 실험

유증건조 시 특정 온도조건에서 시간에 따른 유류무게의 변화를 측정하여 기름증발에 의한 무게오차를 보정하고자 하였다.

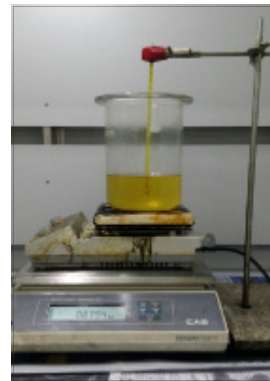


Fig. 1. Experimental equipment for measurement of oil evaporation

유류별 기름 증발량을 측정하기 위해 경유, 엔진오일, 동물성기름, 식물성기름을 가열한 결과, 경유는 가열 시 유증발량이 많고, 결과의 편차가 비교적 커서 가열매체로 부적합하였다. 엔진오일의 경우 가열 시 유증발량은 매우 적지만 엔진오일 자체에 불순물이 많고, 끓어오르는 현상과 용기내벽에 들러붙는 현상이 심해 가열매체로 사용하기 어렵다는 결론을 내렸다. 또한, 동물성기름의 경우 건조효율은 좋지만, 실온에서 고체상태로 존재하여

초기 가열시간이 길고 추후 대량생산을 고려하였을 때 수집이 용이하지 못하다고 판단되어, 식물성기름(콩기름)을 최적 유류로 선정하였다^[2].

저울, 가열기, 반응기, 온도계로 구성된 유증발량 측정장치에 비중이 약 0.93g/cm³인 콩기름을 각각 840g(900mL)씩 따른 후, 60분 동안 130℃, 160℃, 190℃의 온도조건에서 기름 증발량을 측정하였다.

2.2.2 열건조물의 유증건조 실험

저울, 가열기, 반응기, 온도계, 교반기, 복합약취측정기로 구성된 유증건조 장치에 비중이 약 0.93g/cm³인 콩기름을 각각 840g(900mL)씩 따른 후, 열건조물 210g을 넣어 기름과 열건조물의 무게비를 임의의 비율인 4:1로 고정시켰다. 130℃, 160℃, 190℃에서 각각 15분 동안 200rpm의 교반속도로 유증건조를 진행하여 열건조물의 내부 함수율(무게 대비) 변화를 측정하였다.

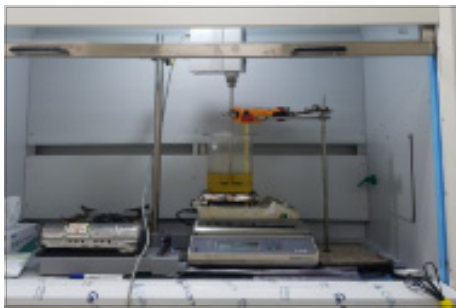


Fig. 2. Experimental equipment of Oil-drying

시간 t에서의 함수율 계산법은 다음과 같으며, 기름증발에 의한 무게오차를 보정하고자 한다.

$$C_{w,t}(wt.%) = \frac{M_t - M_f + M_{t,0}}{M_t} \times 100$$

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

M_i = Initial mass of the Heat-dried sludge

M_f = Mass of the completely dried sludge

M_t = Mass of the sludge at the time, t

M_{t,0} = Mass of the evaporated oil at the time, t

2.2.3 제조한 고행연료의 특성고찰 연구

제조한 고행연료의 발열량을 측정하기 위하여 IKA사의 C1 Calorimeter를 이용하였다. C1 Calorimeter의

Bomb 내부 온도는 chiller를 사용하여 19.5℃로 유지하였으며, 연소 가스는 99%의 O₂를 사용하였다. 시료 0.2~0.5g을 채취하여 정확한 무게를 기기에 입력하고, Bomb 내부에 시료가 든 도가니를 올린 뒤 발열필라멘트에 50kcal/kg의 열량을 가진 전열선을 연결하여 점화하였다^{[1],[2]}. 발열량은 Bomb과 그 외부 냉각수의 온도 변화를 기기 내부 프로그램으로 계산하여 사용하였다.

유증건조 전, 후 시료의 수분 및 회분함량을 측정하기 위하여 Q500-TGA로 열 중량분석을 수행하였다. 무게추를 이용하여 무게보정을 한 후, 온도보정을 수행하였다. 시작온도를 실내온도보다 높게 입력하고, 분당 승온 온도는 5~20℃로 입력하여 1000℃에서 종결하도록 설정하였다. 시료를 분석하기에 앞서 비어있는 Sample Pan을 플랫폼 홈에 맞추어 놓고 Tare을 실행하였다. Tare가 완료되면 시료 5~100mg을 채취한 Sample Pan을 플랫폼 홈에 맞추어 놓고 시간과 온도에 따라 시료의 화학적, 물리적 반응에 의해 생기는 무게변화를 관찰하였다. 연결된 컴퓨터로 그래프의 변곡점을 해석하여 수분 및 회분함량을 측정하였다.



Fig. 3. Photographs of the equipments: (a) C1 Calorimeter and (b) Q500-TGA

2.2.4 제조한 고행연료의 성분분석 연구

유증건조 중 복합약취, 암모니아(NH₃), 황화수소(H₂S), 휘발성 유기화합물(TVOC)의 발생농도(ppm)를 측정하기 위하여 SKT 100-X5 Odor-meter을 이용하였다. 전원 버튼을 눌러 약 50초 동안 자동조정을 수행하고, 환기가 잘되는 창가에서 영점을 조정 후 시작버튼을 눌러 장비의 자동흡입모터를 가동시켰다. 기기 내부 프로그램으로 계산된 복합약취, NH₃, H₂S, TVOC 발생농도(ppm)의 데이터 그룹을 컴퓨터로 전송하여 그래프로 나타내었다.

C, S, Cl 성분 및 기타 중금속 함유여부를 파악하기 위해 EDS 장비를 이용하여 성분분석을 수행하였다. SEM으로 성분을 분석하고자 하는 위치를 선택하고, Sample 내 원소의 에너지 값에 1.5배의 가속 전압을 주

어 성분분석을 진행하였다. 기기 내부에서 X-ray 신호를 처리하여 분석결과를 모니터에 나타내었다.



Fig. 4. Photographs of the equipments:
(a) SKT100-X5 Odor-meter and (b) EDS

2.2.5 화력발전소 현장연료와의 성능비교 연구

제조한 고품연료의 신뢰성을 확보하기 위하여 보령화력발전소에서 사용 중인 현장연료와의 성능비교 연구를 수행하였다. 본 연구에서 성능비교를 위해 사용한 현장연료는 역청탄, 아역청탄, 목재펠릿으로 Fig. 5에 나타내었다.

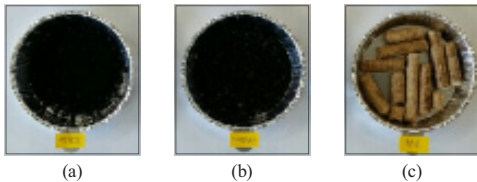


Fig. 5. Images of the materials:
(a) Bituminous coal, (b) Subbituminous coal and (c) Wood pellet

2.3 결과 및 고찰

2.3.1 유증발량 측정 실험

콩기름의 가열시간에 따른 유증발량을 측정한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 총 60분 동안 증발량이 전체 기름 무게 대비 2% 미만으로 기름증발에 의한 무게오차가 매우 미미할 것으로 예상된다.

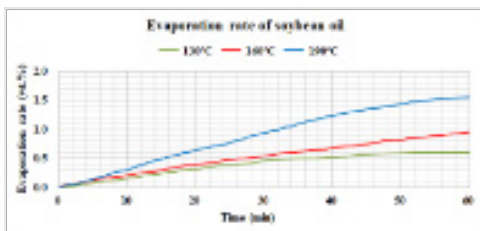


Fig. 6. The evaporation rate of soybean oil

2.3.2 열건조물의 유증건조 실험

유증건조 온도별 건조효율을 파악하기 위하여 시간에 따른 열건조물의 함수율 변화를 측정하였고, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

추후 대량생산을 고려하여 기름과 열건조물의 무게비를 4:1로 고정하고, 에너지 절약을 고려하여 최적 건조 온도를 선정하였다. 실험 결과 열건조물의 투입 직후 기름의 온도가 각각 20°C가량 감소하였으므로, 130°C에서는 일부 내부수의 순간적인 건조 이후 기름과 열건조물의 물리적인 혼합만이 진행될 것으로 예측된다. 고온에서 건조할수록 건조속도가 빠르지만 160°C와 190°C에서의 차이가 크지 않으므로, 160°C의 온도조건이 가장 적합하다고 판단된다.

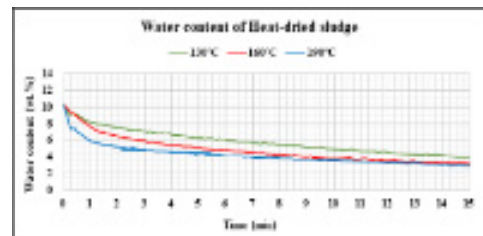


Fig. 7. The variation of water contents of the heat-dried sludge at different temperature

130°C, 160°C, 190°C에서의 건조물을 각각 Sample 1, 2, 3라고 하고, 이를 Fig. 8에 나타내었다. 유증건조 온도별 건조물을 관찰한 결과, 육안 상 큰 차이가 없었으므로, SEM 장비를 이용하여 유증건조 중 내부수가 급격히 분출되어 나온 흔적을 관찰하기 위한 추가연구를 진행할 예정이다.

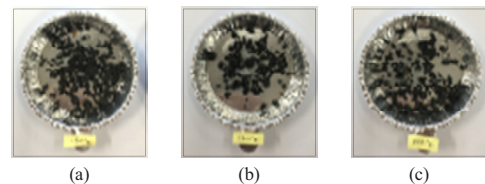


Fig. 8. Images of the materials:
(a) Sample 1(130°C), (b) Sample 2(160°C) and (c) Sample 3(190°C)

2.3.3 제조한 고품연료의 특성고찰 연구

열건조물의 유증건조 온도별 특성고찰 결과를 Table 1에 정리하였고, 열건조물의 유증건조 전, 후 TGA 그래

프를 Fig. 9에 나타내었다.

Table 1. Analysis result of CI Calorimeter and Q500-TGA

Category	Calory (kcal/kg)	Water contents (wt.%)	Ash contents (wt.%)
Heat-dried sludge	3,513	10	35
Sample 1(130℃)	4,306	5	32
Sample 2(160℃)	4,449	2	34
Sample 3(190℃)	4,672	1	32

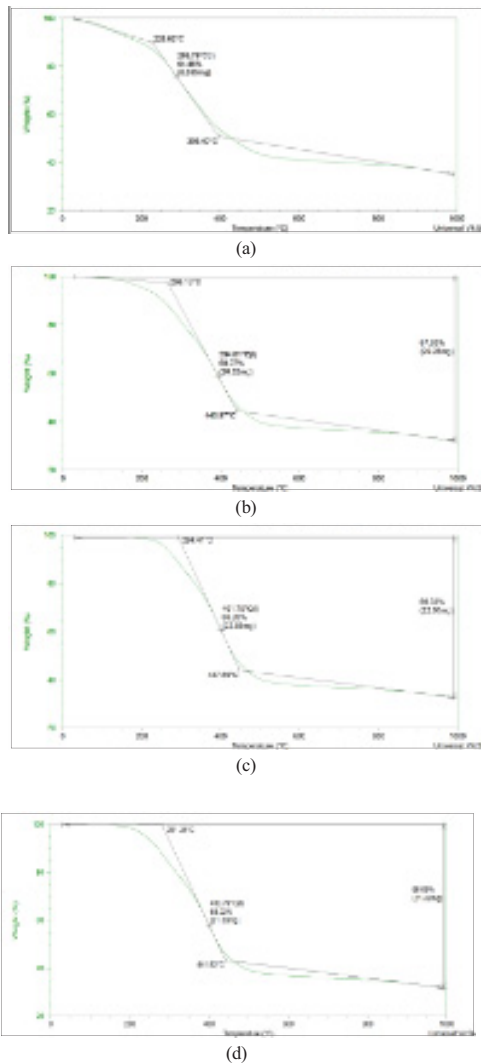


Fig. 9. The analysis graphs of TGA:
 (a) Heat-dried sludge, (b) Sample 1(130℃),
 (c) Sample 2(160℃) and (d) Sample 3(190℃)

CI Calorimeter를 이용하여 발열량을 측정한 결과 유증건조 후의 발열량은 4,300kcal/kg 이상으로 목표치인 4,200kcal/kg을 충분히 상회하는 결과를 보여주었고, 고온에서 건조할수록 발열량이 증가하였다.

Q500-TGA를 이용하여 열 중량분석을 수행한 결과 Fig. 7에서의 수분함량보다 Table 1에서의 기기 측정값이 대체로 더 낮게 측정되었다. 이는 실험 시 후드의 작동으로 인한 후드 내 기압변화 및 진동발생이 저울에 영향을 주어, 오차가 발생하기 때문이라고 판단된다.

TGA 그래프를 분석한 결과, 열건조물과 Sample 1, 2, 3 모두 200℃ 근처에서 그래프의 기울기가 급격히 변화하였다. 물의 끓는점은 100℃, 콩기름의 끓는점은 160℃ 이상이므로, 기울기가 급변하는 200℃ 부근을 시료 내 수분 및 휘발성물질이 완전히 증발하는 지점으로 해석하고, 종결점인 1000℃에서 남아있는 물질을 회분으로 해석하였다^[3]. 수분함량은 고온에서 건조할수록 감소하였으며, 모든 온도 조건에서 목표치인 5% 이내로 측정되었다. 회분함량은 건조 전·후의 차이가 미미하였으며, 기준치인 35% 이내로 하수슬러지 고품질기준 및 하수슬러지 연료탄 GR 규격을 만족하였다^[4].

2.3.4 제조한 고품질연료의 성분분석 연구

SKT100-X5 Odor-meter을 이용하여 유증건조 중 발생하는 가스의 복합악취, NH₃, H₂S, TVOC의 발생농도(ppm)를 측정하였다. 15분 동안 측정된 값을 Fig. 10에 나타내고, 그 중 각 성분의 발생 최고 농도를 Table 2에 정리하였다.

Table 2. The peak concentration of analysis result of Odor-meter at different temperature

Category	Odor (ppm)	NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)	TVOC (ppm)
Sample 1(130℃)	44	4.54	0.66	4.43
Sample 2(160℃)	197	9.64	5.03	>10
Sample 3(190℃)	262	12.48	4.66	>10

고온에서 건조할수록 복합악취와 NH₃의 발생농도가 높으므로, 고온에서 열건조물의 내부수가 더 많이 건조됨을 확인할 수 있었다.

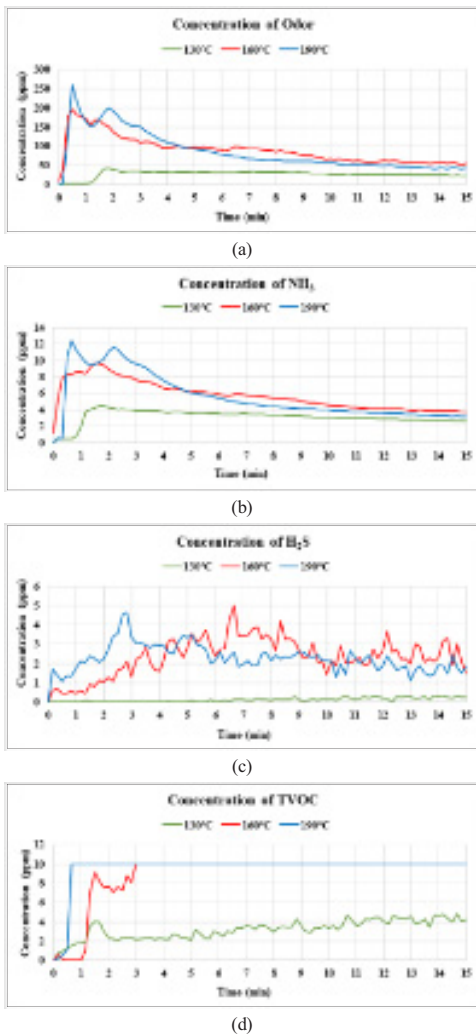


Fig. 10. The analysis graphs of Odor-meter at different temperature:
 (a) Odor, (b) NH₃, (c) H₂S and (d) TVOC

건조 초기에 160°C와 190°C에서 복합악취 및 NH₃의 발생농도가 순간적으로 상승하는 형태를 보아 1~2분 이내에 대부분의 건조가 진행됨을 알 수 있고, 시간이 지남에 따라 공기에 의한 희석으로 복합악취 및 NH₃의 농도가 감소함을 알 수 있다.

130°C에서도 1~2분 이내에 복합악취 및 NH₃의 발생농도가 순간적으로 상승하기는 하지만, 160°C와 190°C에서 보다 현저히 낮다. 또한 내부수가 완전히 건조되지 않아 복합악취 및 NH₃가 지속적으로 발생하므로, 공기에 의한 희석에도 불구하고 농도가 감소되지 않음을 알

수 있다. 이에 따라 130°C에서는 원활한 건조가 진행되지 않는다고 판단된다.

TVOC의 발생농도는 건조온도가 고온일수록 높을 것으로 예측되나, 장비의 TVOC 농도 측정범위인 0.01~10ppm를 초과하여 정확한 측정값을 확보하지 못하였다.

EDS를 이용하여 수행한 열건조물 및 Sample 1, 2, 3의 성분분석 결과를 Table 3에 정리하였다.

Table 3. Analysis result of EDS

Category	C (wt.%)	S (wt.%)	Cl (wt.%)	N (wt.%)	P (wt.%)
Heat-dried Sludge	36.56	1.03	0.16	8.31	3.05
Sample 1 (130°C)	57.05	0.71	0.06	0	1.78
Sample 2 (160°C)	59.05	0.64	0.07	0	1.53
Sample 3 (190°C)	58.47	0.56	0.07	0	1.31

열건조물의 성분분석 결과, S 함량은 고품연료 품질 기준 및 GR인증 규격 기준치인 1.0%를 약간 초과하였고, 부식을 발생시킬 수 있는 Cl 함량은 기준치인 0.5%보다 상대적으로 낮게 측정되었다. C 함량(고정탄소)은 20% 이상으로 GR 규격 기준치를 만족시켰으며, 기타 중금속 성분은 측정되지 않았다. Sample 1, 2, 3의 성분분석 결과, 유중건조물의 S 함량은 모든 온도 조건에서 기준치보다 상대적으로 낮게, 부식을 발생시킬 수 있는 Cl 함량은 기준치보다 현저히 낮게 측정되었다. C 함량(고정탄소)도 20% 이상으로 GR 규격 기준치를 만족시켰으며, 기타 중금속 성분은 측정되지 않았다⁴⁾.

또한, 유중건조 전·후를 비교한 결과, 유중건조를 통해 C 함량이 증가하고, S, Cl, N 및 P의 함량이 다량 감소한다는 것을 알 수 있었다. 이에 따라, 유중건조 중 기름성분에 의해 C가 보상되고, S와 N은 H₂S, NH₃ 등의 기체형태로 배출되며, Cl과 P는 기체형태로 배출되거나 염을 형성하여 침전된다고 판단하여 추가 연구를 진행할 계획이다.

Calorimeter, TGA, Odor-meter, EDS의 측정결과를 환경 친화적인 측면과 인체 안정성의 측면에서 복합적으로 고려한 결과, 기름과 열건조물의 무게비가 4:1일 때 160°C의 건조온도에서 5분 이내로 처리하는 것을 최적 조건으로 선정하였다.

2.3.5 화력발전소 현장연료와의 성능비교 연구

제조한 고품연료의 신뢰성을 확보하기 위해 현재 보령화력발전소에서 사용하는 현장연료의 특성고찰연구를 진행하였다. 그 결과를 Table 4에 정리하고, 현장연료의 TGA분석 그래프를 Fig. 11에 나타내었다.

Table 4. Analysis result of C1 Calorimeter and Q500-TGA

Category	Calory (kcal/kg)	Water contents (wt.%)	Ash contents (wt.%)
Bituminous coal	5,664	7	61
Subbituminous coal	4,412	13	52
Wood pellet	4,092	9	3
Sample 2(160℃)	4,449	2	34

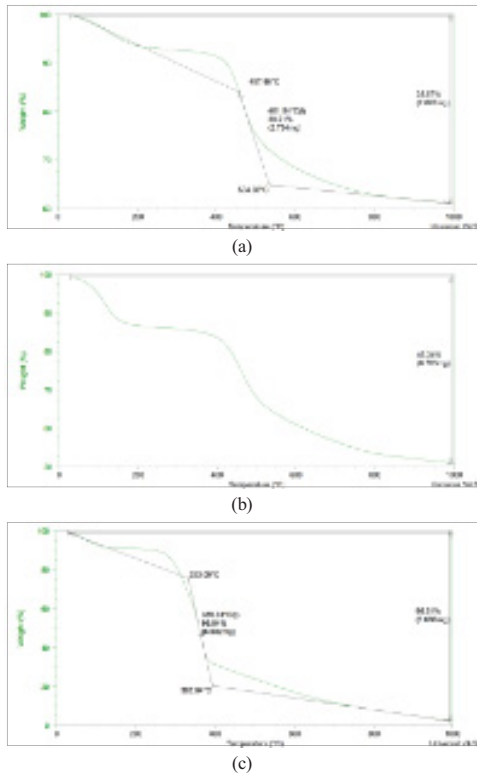


Fig. 11. The analysis graphs of TGA:
 (a) Bituminous coal, (b) Subbituminous coal and
 (c) Wood pellet

제조한 고품연료의 회분함량이 화석연료보다는 현저히 낮지만, 목재펠릿보다 높게 측정되었으므로 이를 고찰하기 위해 Sample Pan의 잔여회분을 관찰하였다. 그

결과 역청탄, 아역청탄 및 제조한 고품연료의 잔여회분은 단단한 고품물로 존재하기 때문에 회분함량이 비교적 높게 측정되고, 목재펠릿의 잔여회분은 흩날리는 재의 형태로 존재하기 때문에 회분함량이 매우 낮게 측정된다고 해석하였다.

2.3.4의 결과로 선정된 Sample 2와 화력발전소 현장연료의 성능을 비교한 결과 제조한 고품연료가 발열량 4,449kcal/kg, 함수율 2%, 회분함량은 34%로 현재 사용 중인 현장연료보다 대체로 우수한 성능을 나타내었다.

3. 결론

본 연구에서는 천안시 병천 하수종말처리장의 슬러지 열풍건조물을 ‘열건조물’이라 지칭하고, 공정의 최적 조건을 선정하기 위해 유증건조 온도별 연료의 특성을 고찰하였다. 그 결과 대량생산과 친환경적인 측면을 고려하여 기름과 열건조물의 무게비를 임의의 비율인 4:1로 고정하고, 160℃의 건조온도에서 5분 이내로 처리하는 것을 최적 조건으로 선정하였다.

본 연구에서 제조한 고품연료의 신뢰성을 확보하기 위하여 화력발전소 현장연료와의 성능비교 연구를 진행한 결과 발열량 4,449kcal/kg, 함수율 2%, 회분함량 34%로 현재 사용 중인 현장연료보다 대체로 우수한 성능을 나타내었으므로, 기존의 목재펠릿 뿐만 아니라 석탄에너지 또한 충분히 대체할 수 있을 것이라 판단된다.

References

- [1] So-Yeon Park, Ik-Beom Kwon, Sang-Bin Kim, Jin-Wook Ha, "A study on the calorie-improvement of carbonized sewage sludge using oil-dried sludge", *Proc. of 2017 KAIS Conference*, vol. 18, no. 1, pp. 503-505, 2017.
- [2] Junho Lee, Soyeon Park, Kyeongho Lee, Jin-Wook Ha, "A study of the RDF(Refuse Derived Fuel) making process of Livestock manure sludge by oil-drying method", *KAIS*, vol. 18, no. 2 pp. 294-301, 2017.
- [3] Seong-min Nam, "Summarization of the use according to the smoking point of edible oil, Coporation Underdog, 2017, <http://hspoon.com/archives/%EC%8B%9D%EC%9A%A9%EC%9C%A0-%EC%9D%98-%EB%B0%9C%EC%97%B0%EC%A0%90%EC%97%90-%EB%94%B0%EB%A5%B8-%EC%93%B0%EC%9E%84%EC%97%90-%EB%8C%80%ED%95%9C-%EC%A0%95%EB%A6%AC>, 2017.12.

[4] Department of Management Strategy, Wastewater treatment sludge(GR M 9018-2016), KATS, 2016, http://www.gr.or.kr/index.php?module=Board&action=SiteBoard&sMode=VIEW_FORM&iBrdNo=1&iBrdContNo=22&sBrdContRe=0&sSearchField=&sSearchValue=&CcurrentPage=1&sNo=2, 2017.12.

박 소 연(So-yeon Park)

[정회원]



- 2016년 8월 : 순천향대학교 에너지 환경공학과(공학사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 화학공학-환경공학과 석사과정 재학
- 2016년 12월 ~ 현재 : ㈜케이피 인턴사원

<관심분야>

환경공학, 폐자원에너지화, 신재생에너지

하 진 욱(Jin-wook Ha)

[정회원]



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

<관심분야>

폐자원에너지화, 화학공학, 환경공학

김 상 빈(Sang-bin Kim)

[정회원]



- 2017년 8월 : 순천향대학교 에너지 환경공학과(공학사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 화학공학-환경공학과 석사과정 재학

<관심분야>

폐자원에너지화, 화학공학, 환경공학