

Pilot scale 유증건조 장비를 이용한 커피찌꺼기의 고품연료화 연구

권익범^{1*}, 하진욱²

¹순천향대학교 화학공학·환경공학과, ²순천향대학교 에너지환경공학과

A Study on the RDF Manufacturing of Coffee grounds by using Pilot scale Oil-drying Equipment

Ik-Beom Kwon^{1*}, Jin-Wook Ha²

¹Department of Chemical & Environmental Engineering, Soonchunhyang University

²Department of Energy & Environmental Engineering, Soonchunhyang University

요약 본 연구에서는 유증건조 공정으로 커피찌꺼기 고품연료를 제조하기 위한 최적 조건을 선정하는 연구를 수행하였다. 유증건조 장비를 실험실 규모에서 파일럿 규모로 확장하여 효율을 비교 분석하였으며, 최적 조건을 선정하기 위하여 커피찌꺼기와 기름의 비율 선정, 세팅 온도, 비율별 시간에 따른 온도변화 및 함수율을 측정하였다. 또한 연구결과물(커피찌꺼기 유증건조물)의 특성분석을 위하여 칼로리미터와 TGA, 연소 장비, 연소 가스 측정기를 이용하여 생산한 고품연료의 특성분석을 하였다. 그 결과 기름과 커피찌꺼기의 비율은 4:1이었고 세팅 온도 300℃로 설정 시 20분 이내에 함수율 10wt.% 이하에 도달하였다. 또한 6,273kcal/kg의 높은 발열량을 보였으나 커피찌꺼기의 경우 목재와 비슷한 성분을 지니고 있어 높은 휘도를 보이며 연소 가스에서 많은 CO를 생성하였다. 이로 인하여 화력발전소, 캠핑용 연료로는 부적합하다고 판단되나 초기 착화 속도가 빠르며 발열량이 높아 현재 사용 중인 불쏘시개용 연료를 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract We studied to find the optimal manufacturing conditions of coffee grounds sludge RDF with oil drying method. We expanded the lab scale to pilot scale to compare the efficiency of the oil-drying equipment and The selection of the ratio of coffee grounds and oil, the setting temperature, and the temperature change and water content with time were measured. In order to analyze the characteristics of the research results, characteristics of solid fuels produced(Coffee grounds of oil-dried) by calorimeter, TGA, combustion equipment, and combustion gas measuring instrument were analyzed. As a result, the ratio of oil to coffee grounds was 4: 1, and when the setting temperature was set to 300℃, the water content reached 10wt.% or less within 20 minutes. In addition, it showed high calorific value of 6,273kcal/kg. However, coffee grounds had a similar composition to wood and showed high luminance and produced a lot of CO in combustion gas. As a result, it is considered to be unsuitable for thermoelectric power plant and camping fuel, but the initial ignition speed is high and the heat generation is high, so it is considered that it can replace the fuels for current use.

Keywords : Coffee grounds, RDF, Oil-drying, Waste recycling, Pelletizing

1. 서론

1.1 제도적 배경

원두의 단 0.2%만이 커피 한잔을 만드는데 사용되며

나머지 99.8%는 커피찌꺼기가 되어 한잔에 약 14g의 커피찌꺼기가 발생하게 된다. 하루에 한 잔씩만 커피를 마셔도 한 달에 0.42kg, 1년이면 약 5kg의 커피찌꺼기가 발생한다.^[1]

본 논문은 한국중부발전소 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Ik-beom Kwon(Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-41-530-1662 email: ikbum5256@gmail.com

Received October 19, 2018

Revised (1st December 14, 2018, 2nd January 15, 2019)

Accepted February 1, 2019

Published February 28, 2019

또한 2016년도의 우리나라 커피 소비량은 세계 6위 로 1인당 평균 377잔이다.^[2] 이에 따라 연간 27만 ton의 많은 양의 커피찌꺼기가 쓰레기로 배출되고 있다. 또한 2015년 파리 협정에서 온실가스의 배출량을 2035년 까지 5% 줄이기로 합의함에 따라 석유 및 석탄에너지 대신 신재생에너지의 사용 필요성이 대두되었다. 이에 정부는 신기후체제에 대응하기 위한 RPS 제도(신재생에너지 의무할당제도)를 시행하였고, 이에 따라 국내 화력 발전소에서는 신재생에너지 의무 할당량을 채우기 위해 목재 펠릿을 수입하여 연간 2천억원 이상의 국부가 유출 되었으므로, 석유 및 석탄에너지를 대체하고, 목재 펠릿의 수입을 대체 할 수 있는 신재생에너지의 개발이 시급 하다.

1.2 기술적 배경

추출하고 남은 커피찌꺼기는 15wt.%의 잔여기름을 함유하고 있어 목재대비 발열량 4,388kcal/kg vs 5,855kcal/kg으로 커피찌꺼기가 우위에 있으며 탄소배출은 화석연료의 1/30 수준이다.^[3] 그러나 커피의 경우 함수율 60wt.% 정도를 보유하여 건조과정을 거쳐야 연료로서의 가치를 인정받게 된다. 커피찌꺼기를 재활용하는 방식에는 연료화 이외에도 비료, 방향제, 바디 스크럽 등의 방법이 있으나 현재 재활용되는 양이 적고 대부분의 제품이 결국 폐기를 시켜야 한다는 결과를 초래하므로 제품의 경쟁력 향상과 에너지 전환 비율 향상을 위해 고품연료화 연구가 더욱 필요한 시점이다.

1.3 연구 목표

본 연구에서는 Lab scale에서 얻은 자료를 바탕으로 Pilot scale 장비의 최적인 조건을 확립하고 커피찌꺼기를 Pilot scale 장비로 유증건조시켜 함수율 10wt.% 이내의 고품연료 제조를 목표로 하였다.

유증건조와 열풍건조와의 건조효율을 비교분석 하였으며, 위 두 방법으로 생산한 고품연료의 특성고찰을 수행하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 실험 이론

2.1.1 커피찌꺼기의 구조

커피찌꺼기란 생두를 로스팅한 후 원두를 잘게 쪼개 는 그라인딩 과정을 거쳐 커피를 추출한 후 남은 잔여물 을 말한다. 유기물을 풍부하게 함유해 연료로서의 가치 가 높은 대신 수분 함량이 약 60wt.% 정도로 연소 전 건조 공정이 필요하다는 문제점이 있다. 그러나 하수슬러 지 및 가축분뇨에 비하여 특유의 커피 향을 갖춰 악취가 없으며 찌꺼기 내 15wt.% 이상의 기름을 함유하고 있어 연료로서의 가치가 높다.

또한 식물의 주성분인 리그닌(lignin), 셀룰로즈 (cellulose) 등을 포함하는 다공성 물질이다. 다공성의 형태를 Fig. 1에 나타내었다.

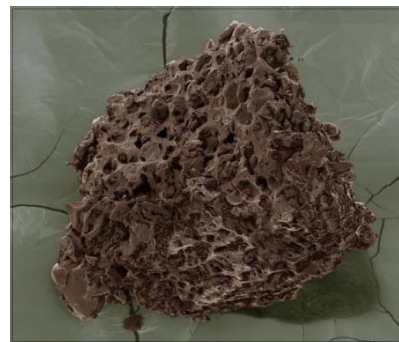


Fig. 1. Porous structure of coffee grounds by using quanta 3D microscope

즉, 커피찌꺼기는 식물세포 조직의 특성상 통기성이 뛰어나고, 일정한 압축 성형을 통해 일정시간 이상 지속 적인 발열이 가능하게 된다.^[4] 커피찌꺼기를 고품연료로 제조하기 위해서는 상기 커피 부산물의 전체 수분 함량 을 10wt.% 미만으로 낮추는 것이 중요하다.

2.1.2 건조법의 종류

슬러지 및 찌꺼기를 건조하는 방법에는 직접 및 간접 열 건조의 방법이 있다. 직접건조법은 슬러지에 직접적 으로 열풍을 가하여 수분을 증발시키는 방식이다. 사용 실례가 많으며 사용이 간편하나 타 건조법에 비하여 열 전도율을 낮아 시간이 오래 걸리며 효율이 떨어진다. 간접 건조법은 열매체를 통해 열전도를 이용하여 슬러지를 건조하는 방식이다. 이 방식은 열효율이 높으나 진공 또는 감압을 사용하여 부대시설비용이 추가적으로 필요하다.

Table 1. Changes in drying temperature and moisture content at drying time by oil to coffee ratio

Division	Oil-drying	Heated Air-drying
Calories required for drying (kcal/kg-H ₂ O)	625~730	810~950
Drying time(min)	10	50~120
Dried-sludge moisture content(%)	10	10~40
Dried-calorie(kcal/kg)	4,000~6,000	2,500~3,500

본 연구에서는 약 500W/m²C 의 높은 열전달 계수를 갖는 유증건조 기술이 사용되었으며 Table 1.에 열풍건조 대비 에너지 소비율을 나타내었다.^[5]

열풍건조와 유증건조의 고온의 기름을 이용하여 슬러지 내의 수분을 급속 증발시키며, 유류 자체의 열량으로 인해 수분과 치환된 유류의 열량까지 추가로 얻을 수 있다는 장점이 있다.

2.2 실험 방법

2.2.1 유증건조 시간 및 비율 선정연구

Fig. 2의 Hot-air drying과 Oil-drying(Pilot scale)의 건조 방법별 효율을 비교하기 위하여 구성된 장비 중 먼저 유증건조 장비에 비중이 약 0.93g/cm³인 콩기름을 반응기 Capa.의 2분의 1(20L)을 따른 후, 가열 장치의 세팅 온도별(200℃, 300℃, 350℃) 시간에 따른 내부 기름 온도변화를 측정하였으며, 세팅 온도별 Calibration을 작성하였다.

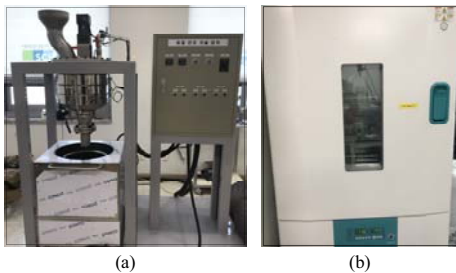


Fig. 2. Drying equipment
(a) Oil-drying(Pilot scale) (b) Hot-Air drying

위와 동일한 조건하에 외부 온도를 300℃로 세팅 후 내부온도(기름) 190℃에 도달하였을 때 기름과 슬러지를 4:1, 5:1, 6:1 비율(무게 비)로 슬러지를 넣고 시간에 따른 온도 및 함수율을 측정하였다.

다음으로 열풍건조 장비의 온도를 190℃로 세팅 후 Stainless steel bowl에 절반인 0.6kg의 커피찌꺼기를 채워 넣고 온도와 함수율을 측정하였다.

2.2.2 유증건조 탈유기 선정

함수율 60wt.%의 슬러지를 유증건조 시에 투입된 커피찌꺼기 무게의 50wt.% 정도의 유증건조물을 회수하게 된다. 그러나 커피찌꺼기의 경우 입자사이즈가 작아 Pilot scale의 원심탈유기로 탈유 시 유증건조물의 회수율이 10wt.% 정도로 낮은 회수율을 보였다.

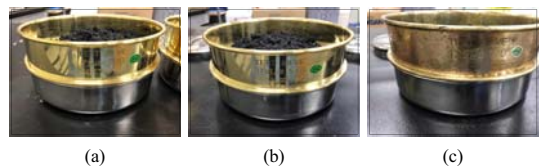


Fig. 3. Sieve analysis test by particle size
(a) 75µm (b) 106µm (c) 125µm

회수율을 높이기 위하여 Fig. 3의 Particle size 75µm, 106µm, 125µm 등 3가지의 Sieve analysis test를 이용하여 원심탈유기의 여과막을 통과한 기름 350g을 정량하여 각각의 Sieve에 넣고 Sieve를 원심분리기에 결속한 후 2분간 탈유를 진행하여, 탈유 전후의 무게 차를 비교하였다.

2.2.3 유증건조물 및 열풍건조물의 성형화 연구

유증건조물의 펠릿 성형 시 연료의 균질성을 높이기 위해 190℃ 식물성 기름 조건에서 기름과 슬러지 비율 4:1로 건조하였으며 탈유공정 거쳤다.

열풍건조물의 경우 열풍건조기를 이용하여 190℃의 온도에서 건조하였으며 위의 두 가지 방법 모두 함수율 1~15wt.%의 건조물 생산하여 Fig. 4의 장비로 성형 후 함수율별 강도를 보았다.



Fig. 4. Lab scale pelletizer

유중건조법과 열풍건조법으로 생산한 함수율 15wt.%와 1wt.%의 연료는 Fig. 10, 11에 나타내었다.

2.2.4 생산한 고품 연료 특성 고찰 연구

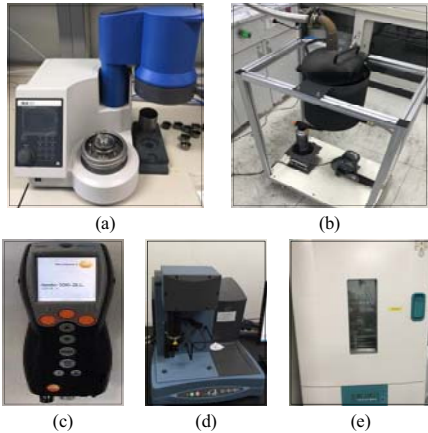


Fig. 5. Fuel characteristics analysis equipment
(a) IKA C1 Calorimeter (b) Combustion equipment
(c) Testo 330-LL (d) TGA Q500 (e) Hot-air drying equipment

앞의 실험에서 생산된 슬러지 고품연료의 성능을 고찰하기 위해 Fig. 5의 장비를 이용하여 연료의 발열량, 공업분석, 연소율 및 연소가스를 측정하였다.

발열량은 IKA사의 C1 Calorimeter를 이용하여 측정하였으며, 수분 함량은 열풍건조기를 이용하여 시료를 $105 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 항량에 도달할 때까지 건조하고 무게를 달아 슬러지의 무게 차이로 수분의 양(%)을 산출하였다.

수분 함량 측정이 완료된 건조 시료를 이용하여 공업분석(휘발분, 고정탄소, 회분)을 수행하였으며 전 처리된 시료 약 1g을 취하여 상온에서부터 950°C 까지 반응온도를 상승시키면서 수분(105°C)과 휘발분($105 \sim 950^\circ\text{C}$)을 측정하였다. 고정탄소와 회분 함량 측정을 위하여 650°C 까지 온도를 낮춘 후 850°C 까지 재승온하여 수행하였다.

자체 제작한 연소장치를 이용하여 연료의 함수율별 연소율 측정을 진행하였다.

KS M 0009의 방법으로 연소율을 산출하였으며, 측정법은 연료를 넣고 가스 토치로 점화시킨 다음 송풍기를 이용하여 공기를 공급하여 연료가 스스로 다 탈 때까지 실험을 진행하였으며 이때 온도계의 온도가 80°C 에 도달하게 되면 연료의 연소가 완료된 것으로 보고 연소 잔존물을 수거했다.

완전연소 후 남은 회분의 사진은 Fig. 6에 나타내었다. 또한 연소 가스 측정 장비를 연소장치의 배관 끝 쪽에 Probe를 결속시켜 CO, CO₂ 등 연소 가스를 분석하였다.

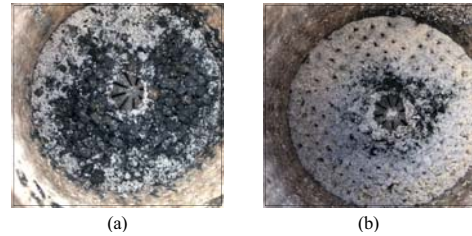


Fig. 6. Ash after combustion of fuel by water content
(a) Moisture content 15wt.%
(b) Moisture content 1wt.%

2.3 실험 결과 및 고찰

2.3.1 유중건조 시간 및 비율선정 연구

Pilot scale 장비의 열전도율을 알기 위하여 외부 세팅 온도 따른 측정온도를 Calibration 하였으며 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

측정온도는 세팅 온도에서 기름을 가열 시 내부온도가 증가하지 않고 30분 이상 유지되는 온도를 측정온도로 하였다.

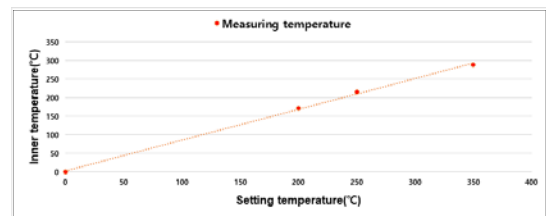


Fig. 7. Temperature calibration of pilot scale equipment

이는 추후 세팅 온도변화 시 Pilot 장비의 내부온도 예측을 위한 자료로 사용하기 위해 Calibration 하였다.

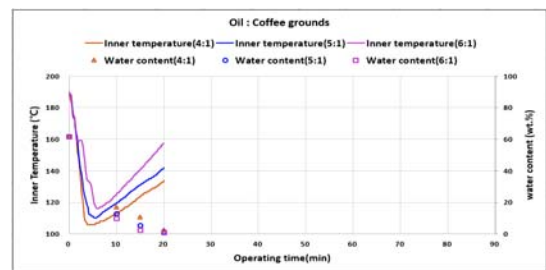


Fig. 8. Changes in oil-drying temperature and moisture content at drying time by oil to coffee ratio

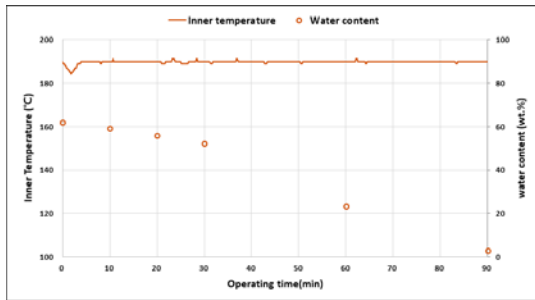


Fig. 9. Changes in hot-air drying temperature and moisture content

Pilot scale 유중건조 장비의 시간에 따른 온도변화 및 함수율 측정값을 Fig. 8과 Table 2.에 나타냈으며, 열풍 건조의 측정값은 Fig. 9과 Table 3.에 나타내었다.

Table 2. Changes in drying temperature and moisture content at drying time by oil to coffee ratio

Oil:Coffee grounds (Weight ratio)	Drying time (Min)	Inner Temperature (°C)	Moisture content (wt.%)
4:1	10	113	17.2
	15	124	10.6
	20	134	2.4
5:1	10	119	13
	15	131	5.4
	20	142	1.5
6:1	10	125	10
	15	141	2.4
	20	157	1.2

Table 3. Proximate analysis by drying method of coffee grounds

Drying time (Min)	Inner temperature (°C)	Moisture content (Wt.%)
0	190	62.1
10	189	59.4
20	190	56
30	190	52.1
60	190	23.3
90	191	1.9

기름과 커피찌꺼기의 비율을 3:1로 선정 할 시 함수율 10wt.% 이내로 도달하는 시간이 30분 이상이 걸렸으며, 커피찌꺼기의 양이 많아지면 배출구가 막히는 현상이 일어났다.

유중건조의 생산효율을 높이기 위해선 한 사이클에 가능한 많은 양의 건조물을 생산해 내는 것이 중요하기

때문에 최적 비율은 4:1이었으며, 건조시간은 20분 이상 건조 시에 함수율 1wt.% 대로 낮아졌다.

열풍건조로 함수율 1wt.% 대로 낮추는데 90분 이상이 소요되어 유중건조법에 비하여 건조시간이 약 5배 정도 더 소요되었다.

2.3.2 유중건조 탈유기 선정

Sieve test를 이용하여 건조물을 탈유 한 결과를 Fig. 10과 Table 4.에 나타내었다.

75 μ m의 Sieve의 경우 체의 크기가 너무 작아 125 μ m보다 적은 양의 기름이 여과되었으며, 평균 60.2%의 회수율을 보였다.

커피 찌꺼기의 경우 크기가 작아 원심탈수기의 필터로는 적합하지 않은 것으로 판단되며, 회수율을 높이기 위해 양산설비에 탈유 공정은 Filter press 방식으로 고려할 예정이다.

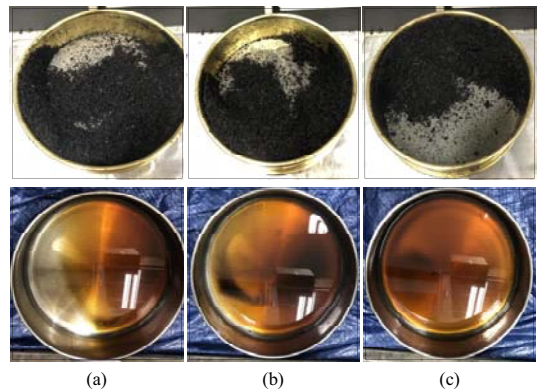


Fig. 10. Oil-dried coffee grounds deoiling by sieve test (a) 75 μ m (b) 106 μ m (c) 125 μ m

Table 4. Changes in drying temperature and moisture content at drying time by oil to coffee ratio

Sieve Size	Weight after Deoiling(g)		Recovery rate(%)
	Early	end	
75 μ m (200mesh)	350.0	223.8	63.9
106 μ m (140mesh)		205.4	58.7
125 μ m (120mesh)		202.8	57.9

2.3.3 유중건조물 및 열풍건조물의 성형화 연구

유중건조물 및 열풍건조물의 성형화 연구를 수행한 결과 Fig. 11, 12와 같은 고형 연료 펠릿을 얻을 수 있었다.

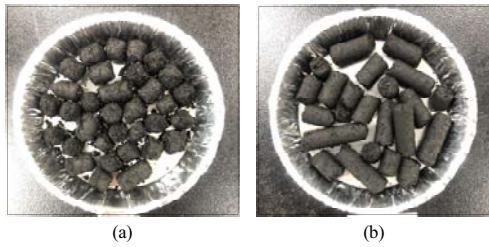


Fig. 11. Pelletized oil-dried coffee grounds
(a) Moisture content 15wt.%
(b) Moisture content 1wt.%

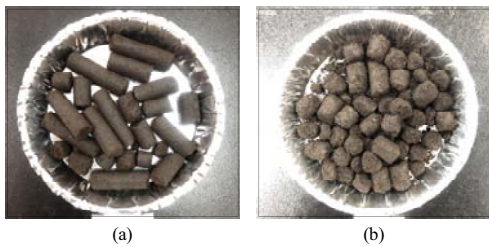


Fig. 12. Pelletized hot-air dried coffee grounds
(a) Moisture content 15wt.%
(b) Moisture content 1wt.%

유중건조물은 함수율 15wt.%보다 1wt.%의 강도가 더 강했으며 탈유가 더욱 잘될수록 즉, 기름의 양을 적게 함유할수록 강도가 더 강했다.

열풍건조물의 경우 15wt.% 정도의 함수율을 보유할 때 성형이 가장 잘됐으며, 1wt.% 이하의 함수율의 경우 성형이 되지 않았다. 이로써 수분이 어느 정도 함유되어 있어야 성형이 잘되는 것을 확인하였으며, 유중건조물의 경우 수분과 함께 유분도 있어 함수율이 10wt.% 이상일 경우 건조물 내의 기름과 수분이 많아 성형이 잘되지 않는 것으로 판단된다.

2.3.4 생산한 고품 연료 특성 고찰

건조 전과 후의 측정된 발열량을 Table 5. 에 나타내었으며 열 건조로 수분을 날려 측정한 결과 현재 발전소에서 사용되고 있는 목재 펠트의 원료인 Wood powder, Wood chip, 탄화슬러지 보다 높은 발열량을 보였으며, 이는 커피찌꺼기 내에 잔여 기름으로 인하여 높은 발열량을 보였다고 판단된다.

최적조건으로 최종 생산된 고품연료의 실제 발열량을 측정된 결과 유중건조 후의 발열량은 6,273kcal/kg으로 열풍건조보다 656kcal/kg이 높았다.

Table 5. Calorie & water content in varrious livestock manure sludges

Spec.	Coffee grounds	Sewage sludge	Wood powder	Wood chip
Moisture content (wt.%)	62.1	80.6	18.9	20.2
Calorie(kcal/kg)	3,066	264	3,324	3,472
Hot-air dried calorie (kcal/kg)	5,617	3,897	4,059	4,215
Oil-dried calorie (kcal/kg)	6,273	5,468	-	-

TGA를 이용하여 F.M.(고정탄소), V.M.(휘발분), Ash(회분)를 측정된 결과를 Table 6.에 나타내었다.

Table 6. Proximate analysis by drying method of coffee grounds

Coffee grounds	Component	Dried time (min)	Moisture content (%)	F.C. (%)	V.M. (%)	Ash (%)
Hot-air dried	Before dry	-	62.1	-		
	After dry	100	1.4	0.8	97	0.8
Oil-dried	Before dry	-	62.1	-		
	After dry	20	1.1	0.6	97.5	0.8

열풍건조와 비교하여 유중건조 후의 공업분석결과 휘발분이 증가한 것을 확인하였으며, 이는 커피슬러지 유중건조물에 공기층이 스며들어 열분석 시에 스며든 공기층의 질량만큼 휘발분의 양이 늘어난 것으로 판단된다.

성형한 고품연료를 가지고 연소 테스트를 진행한 결과 제품 모두 연소율은 99% 이상을 보였다.

목재의 성분은 리그닌(lignin), 셀룰로즈(cellulose)가 주된 성분으로 커피 또한 동일한 성분을 가지며, 이런 성분은 연소 시 착화 후 화염의 휘도가 높고 연소시간이 짧으며 연소가 안정적이지 않아 CO의 발생량이 많다. 이로 인해 15wt.%와 1wt.%의 함수율을 보유한 커피 고품연료 모두 많은 CO를 발생시켰으며, 그 결과를 Fig. 12에 나타내었다.

함수율 15wt.% 고품연료의 경우 일정량의 수분을 보유하여 안정적인 연소가 이루어지지 않아 CO의 발생량이 많았다.

함수율 1wt.%의 경우 안정적인 연소형태를 보여 상대적으로 적은 양의 CO가 발생 되었다.

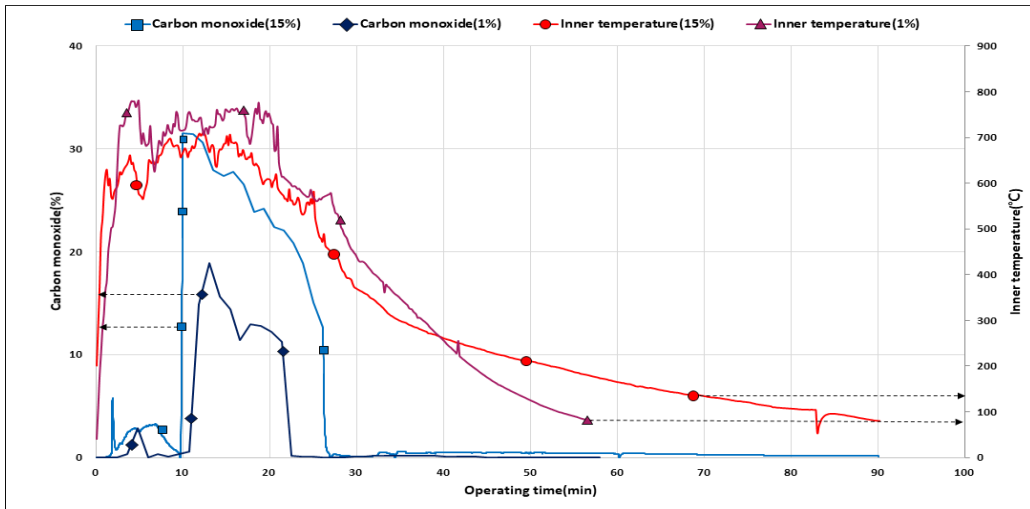


Fig. 12. The amount of carbon monoxide and the temperature inside of combustion equipment

3. 결론

본 연구에서는 Lab scale의 유증건조 조건을 이용하여 Pilot scale의 최적 운전조건을 파악하고자 세팅 온도 및 내부온도 측정 연구, 기름과 커피찌꺼기의 최적 비율 실험, 유증건조시간 실험, Calorimeter와 연소장치를 이용한 커피 펠릿 성능 고찰, 추가적으로 시중에 유통되는 목재 펠릿과 성능 비교시험을 실시하였다. 유증건조는 190℃의 식물성 기름 조건에서 기름과 커피찌꺼기의 비율은 4:1로 20분간 유증건조 하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 열풍건조에 비하여 약 5배 정도 빠른 건조시간을 보여주었다.

커피찌꺼기의 경우 입자 크기가 75 μ m 이상으로 현재의 원심탈유기의 Sieve로는 한계가 있을 것으로 판단되어 Filter press방식의 탈유기로 선정할 계획이다.

함수율별 성형강도는 유증건조의 경우 함수율이 낮을수록 강도가 높았으며, 열풍건조의 경우 10~15wt.%의 함수율을 보유하였을 때 강도가 높았다. Pilot scale 최적 운전조건으로 생산한 연료는 6,273kcal/kg의 발열량을 보여 연료로서의 가능성을 보여주었고, 99%의 높은 연소율을 보였으며, CO의 경우 함수율이 낮을수록 고온의 안정된 연소를 보여 CO가 낮게 측정되었다. 공업분석 결과 목재 펠릿과 비슷한 높은 휘발분 보유로 인하여 화염의 휘도가 높아 목재 펠릿과 비슷한 CO의 양을 보여주었다.

끝으로 연료로서의 가치는 높으나 많은 CO 발생과 화염의 높은 휘도로 인하여 화력발전, 캠핑용 연료로는 부적합하다고 판단되나 초기착화 속도가 빠르며 발열량이 높아 현재 사용 중인 불쏘시개용 연료를 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] "Coffee ground biomass" (as of 2014) LG Challenger from: https://www.lgchallengers.com/wp-content/themes/lj/images/global/PDS/sample_1.pdf (accessed Sep, 10, 2018)
- [2] "The annual consumption of coffee per capita in Korea adult is 377 cups" (as of 2017) Ministry of Agriculture. Food Industry Policy Division. Sung-Woo Park, from: <http://www.mafra.go.kr/mafra/293/subview.do?jsessionid=ptxeoPi-fKyzHO9W1W3TrDv6.inst11?enc=Zm5jdDF8QE B8JTJGYmJzJTJGbWFmcmEIMkY2OCUyRjMxNDQ2MCUyRmFydGNsVmllldy5kbyUzRg%3D%3D> (accessed dec, 01, 2018)
- [3] "Fuel Properties of Spent Coffee Bean by Torrefaction" (as of 2013) Suk-kyu Lee, Kwang-Hyung Lee (accessed dec, 01, 2018)
- [4] "Solid fuel composition using coffee wastes" (as of 2009) form: <https://patentimages.storage.googleapis.com/c7/9e/f8/fd8fe9214be532/KR20090085382A.pdf> (accessed Sep, 10, 2018)
- [5] "Solid fuel of livestock wastes (manure) using Oil evaporative drying technology" (as of 2010) Chungnam institute. Hanbat national university. Tae-in Ohm, from: https://www.cni.re.kr/common/publicDown.asp?gcd=ACO0_00003241&seq=2 (accessed Sep, 10, 2018)

권익범(Ik-Beomg Kwon)

[정회원]



- 2017년 2월 : 순천향대학교 에너지 환경공학과 (공학석사)
- 2019년 2월 : 순천향대학교 화학공학·환경공학과 (공학석사)

<관심분야>

폐기물재활용, 신재생에너지

하진욱(Jin-Wook Ha)

[정회원]



- 1990년 8월 : (미) 일리노이주립대 화학공학과 (공학석사)
- 1993년 5월 : (미) 일리노이주립대 화학공학과 (공학박사)
- 2004년 1월 ~ 2004년 8월 : 일본 쥬꾸바과학도시, AIST, 초빙연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 에너지환경공학과 교수

<관심분야>

폐자원에너지화, 화학공학, 환경공학