

건조법에 따른 커피박 고형연료의 특성 고찰 연구

김상빈^{1*}, 하진욱²

¹순천향대학교 화학공학·환경공학과, ²순천향대학교 에너지환경공학과

A Study on the Characteristics of Coffee Ground(CG)-RDF by Using Different Drying Method

Sang-bin Kim^{1*}, Jin-wook Ha²

¹Devison of Chemical & Environmental Engineering, Soonchunhyang University

²evison of Energy & Environmental Engineering, Soonchunhyang University

요약 본 연구는 커피박을 열풍건조와 유증건조 방법을 통해 고형연료로 제조하여 특성고찰을 진행하였다. 그리고 각 건조 시료의 발열량 차이를 비교하였다. 그리고 열중량분석기를 이용한 공업분석법이 유기성 폐기물 및 유증처리 시료에 적용 여부를 고찰하였다. 그 결과, 로 내부를 N₂ 분위기에서 100℃까지 가열한 후 180분 동안 유지한다. 그 후 100℃에서 950℃까지 가열하고 950℃에서 7분 동안 유지한다. 이후 600℃로 냉각하고 로 내부를 O₂ 분위기로 전환한다. 그리고 815℃에서 30분 내 외로 온도를 유지하는 것이 적당하다. 다음으로 건조 전과 후 시료의 표면을 SEM장비로 관찰하였고 EDS 장비를 통해 성분을 측정하였다. 그 결과 증급속과 같은 기타 유해성분은 측정되지 않았다. 그리고 열중량분석기를 통해 TG와 DTG 곡선을 얻었고 이를 통해 열분해와 연소반응의 차이점을 고찰하였다. 그 결과, 유증건조 된 커피박이 열풍건조 된 커피박 보다 착화 시간이 긴 것으로 보인다. 마지막으로, 열중량분석기에서 배출되는 연소가스를 포집하여 시간에 따른 CO와 CO₂ 농도를 GC를 이용하여 정성 및 정량분석 하였다.

Abstract In this study, the characteristics of coffee grounds were reviewed by making them from solid fuel through heat-drying and oil-drying method. The differences in the higher calorific power by each dried sample were compared. And industrial analysis using the thermogravimetric analyzer was considered for applicability to organic waste and oily samples. Before and after drying, the surface of the specimen was observed with SEM equipment and the ingredients were measured through the EDS equipment. As a result, no other hazardous substances, such as heavy metals, were measured. Next, The differences between thermal decomposition and combustion reactions were considered through the TG and DTG curves. As a result, it is that the oil-dried coffee grounds is longer to burn than the heat-dried coffee grounds. Finally, the combustion gases emitted through the thermogravimetric analyzer were collected and the carbon monoxide and carbon dioxide performed qualitative and quantitative analysis using GC over time.

Keywords : Coffee Grounds, Heat-drying, Oil-drying, TGA, RDF, SEM-EDS

1. 서 론

1.1 연구배경

산업혁명 이후 화석연료에 의존하여 산업이 급속도로

발전하였다. 특히 우리나라는 화석연료를 포함하여 에너지원의 해외의존도가 상당히 높은 나라 중에 하나이다. 따라서 이러한 화석연료를 대체 할 수 있는 에너지(신재생 에너지)의 보급이 시급한 실정이다. 이를 위 해 우

본 논문은 한국중부발전소 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sang-bin Kim(Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-41-530-1662 email: wim0407@naver.com

Received August 14, 2018

Revised September 10, 2018

Accepted February 1, 2019

Published February 28, 2019

리나라는 신·재생에너지의 기술개발 및 이용·보급의 촉진과 산업의 활성화를 통하여 다양한 에너지원을 개발하고, 안정적인 에너지공급과 환경 친화적이며 온실가스 배출 감소를 목표로 국민의 복지와 환경의 보전에 이바지함을 목적으로 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법’을 제정, 공포하였다. 이렇게 다양한 신·재생 에너지 중 커피에 대한 폐기물 고형연료(RDF)에 대한 관심이 커지고 있는 상황이다.[1]

커피는 전 세계적으로 사랑 받고 있는 음료이다. 아시아에서는 1900년대 이후로 커피 소비량이 연평균 4% 이상의 성장률을 보였고, 2000년 이후로는 5%까지 상승하였다. 한국의 경우에도 꾸준한 소비량을 보이며 2017년 1인당 연간 커피 소비량이 512잔으로 밝혀졌다. 이렇게 소비되는 커피는 원두 중 단 0.2%만이 소비되고 99.8%는 버려지고 있는 실정이다. 이 커피박을 이용하여 일부가 비료나 탈취제로 사용되고 있지만 사용 비율은 현저히 낮다.[2] 따라서, 커피박의 효율적인 재활용 방안을 마련하는 것이 시급하다.

커피박에는 목질계 성분인 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌이 함유되어 높은 발열량으로 우수한 연료적 가치가 있다. 이러한 커피박은 건조를 통해 고형 연료화, 바이오디젤 추출, 흡착제 등으로 사용되고 있지만 그 수준은 매우 미미하다. 커피박은 다량의 유기물로 다른 폐기물에 비해 상대적으로 높은 발열량을 갖고 있다. 커피박의 연료화를 위한 방법 중 하나는 효과적으로 건조하여 수분을 제거하는 것이다.[3][4]

유기성 폐기물의 연료화를 위해 건조공정은 필수이다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 건조 방법 중 열풍건조법과 유중건조법을 비교하고자 하였다. 이를 위해 각 건조법에 따라 커피박을 고형연료로 제조하고 제조한 고형연료의 성능 측정, 특성 및 성분 고찰하였다. 고찰할 결과를 통해 건조법의 차이점을 알아보고 더 우수한 건조 공정을 알아보고자 한다.

2. 본 론

2.1 대상시료

아산시에 위치한 T사에서 커피 추출 후 남은 커피박(Coffee Grounds, CG)을 사용하였으며, 함수율은 약 60%로 측정되었다. 이를 함수율 10%로 건조하기 위해

2가지 방법을 사용하였다. 첫 번째로 건조기를 이용하여 커피박을 5cm 높이로 축적하고, 120℃에서 8시간 동안 열풍건조 하였다. 두 번째로 식물성기름과 커피박을 무게비율 4:1로 하여 190℃에서 200rpm의 교반속도로 유중건조하고 이 시료를 1300rpm에서 1분간 탈유하였다.[5]

각 건조시료는 sieves를 이용하여 0.8~1mm의 균일한 크기로 분석하였다.

2.2 대상시료

2.2.1 열풍건조법

열풍건조법은 연료화 과정에서 사용되는 주된 건조 방법으로 고온의 바람을 이용한 직접건조 방법이다. 그러나 유기물 내의 강한 결합에 의한 수분은 제거하지 못한다는 한계와 건조 시 폐기물의 축적 높이에 따른 건조 효율의 불안정, 다량의 악취 발생이라는 단점이 있다.

2.2.2 유중건조법

유중건조법은 간접건조법의 하나로 기름을 열전달 매체로 사용하여 폭발적인 증발반응을 통해 슬러지내의 수분을 급속 건조시켜 낮은 함수율과 고발열량화라는 장점을 지닌 방법이다. 이는 유기성 폐기물 내의 강한 결합에 의한 수분까지 제거가 가능한 점과 물과의 비열 차이 특성을 통해 수분과 치환된 유류로 추가적인 열량을 얻을 수 있기 때문이다. 그러나 새로운 공정개발이 필요하다 단점이 있다.

2.3 실험 방법

2.3.1 발열량 측정 및 TGA를 이용한 공업분석

발열량 측정은 열량측정기(Calorimeter: C1, IKA, Korea)를 이용하였고, 연소 가스는 99.99%의 산소, 50kcal/kg의 발열필라멘트를 사용하였다. 1회 측정 시 분석시료는 0.3~0.4g으로 10회 측정하여 평균값을 도출하였다.

공업분석은 열중량분석기(Thermo Gravimetric Analysis: TGA Q50, TA Instruments, Korea)를 이용하여 미국재료 시험 협회(American Society for Testing and Material, ASTM)의 Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis (D7582-12))으로 평균 시료량 300mg을 분석하였다. 열중량분석기를 이용하여 N2 분위기에서 수분

측정을 위해 100℃에서 180min간 가열하고 휘발분 측정을 위해 100℃ ~ 950℃까지 가열 후 950℃에서 7min간 유지하였다. 마지막으로 회분 측정을 위하여 로 내부 온도를 600℃까지 냉각시킨 후 O₂ 분위기로 전환하고, 815℃까지 가열하여 180min동안 유지하였다.[6] 이 결과와 습식법 결과의 비교를 통해 열중량분석기를 이용한 공업분석이 유기성 폐기물과 유중처리 된 시료의 적용 가능성을 보고자한다. 마지막으로 분석방법을 Table 1에 요약하여 정리하였다.

Table 1. Method by TGA for proximate analysis of coffee grounds

Item	Sample mass	Temperature	Time
Moisture contents	300mg ± 5	105℃~110℃	more than 180min (constant weight)
Volatile matter		Rise 950℃ for 26~30min	7min
Ash contents		Rise 815℃ for 60min	180min
Fixed carbon	100-(Moisture+Volatile metter+Ash)(%)		

2.3.2 SEM-EDS를 이용한 표면관찰과 성분측정

주사전자 현미경(Scanning Electron Microscopy: CX-100, Coxem, Korea)을 이용하여 대상 시료의 표면을 관찰하였으며, C, S, Cl 성분 및 기타 환경유해 성분 함유여부를 파악하기 위해 에너지 분산 분광 분석법(energy dispersive spectroscopy)을 이용하여 성분분석을 수행하였다.

2.3.3 TGA를 이용한 열분해와 연소반응

열중량분석기를 이용하여 시료를 N₂와 Air분위기에 10℃/min의 속도로 승온시켜 최대 1,000℃까지 가열하여 TG와 DTG 곡선을 얻었고 이 분석조건은 Table 2에 정리하여 나타내었다.

Table 2. Experimental conditions

Item	Condition
Temperature (℃)	30 ~ 1,000
Heating up rate (℃/min)	10
Purge gas	Air(O ₂ 21%), N ₂
Purge rate (mL/min)	100
Weight of sample (mg)	300 ± 5

2.3.4 GC를 이용한 CO, CO₂분석

연료의 연소 시 환경오염을 야기 시킬 수 있는 CO, CO₂를 GC를 이용하여 발생 경향과 양을 분석하였다. GC분석은 기체크로마토그래피(GC-2030, Shimadzu, Korea)에 Methanizer와 FID를 장착하여 사용하였고, 2.3.3의 연소반응에서 배출되는 기체를 10min 단위로 진공 튜브를 통해 포집백에 포집하여 분석하였다. 그리고 GC분석 조건은 Table 3에 요약하여 정리하였다.

Table 3. Experimental conditions

Item	Condition
Column	Shincarbon ST(2m x 1.0mmI.D, 10um)
Nitrogen carrier flow	8mL/min
Injection mode	Split(split ratio 10:1)
Column temperature	35℃
Detector temperature	250℃

2.4 실험 결과 및 고찰

2.4.1 발열량 측정 및 공업분석 결과

커피박의 두가지 건조 방법에 의한 건조 시료의 발열량 측정과 열적 특성을 파악하여 열중량분석기를 이용해 공업분석을 진행하였다. 환원 및 산화 조건에서 각 시료의 질량변화 관찰결과를 Fig. 1에 나타내었고, 발열량 측정 결과와 습식법 측정 결과를 비교하여 Table 4에 나타내었다. 시료의 수분은 약 100℃에서 증발되었다. 휘발분의 경우 약 300℃ ~ 600℃ 사이에서 급격한 질량 감소를 나타내었고, 마지막으로 600℃~ 900℃까지는 질량 감소가 거의 일어나지 않았다. 유중건조 된 커피박의 경우 400℃ 부근에서 급격한 질량감소가 한 번 더 일어나는데 이는 건조과정에서 침투한 유류성분의 분해로 보여진다.

습식법과 비교 했을 때 열풍건조의 경우에는 수분 함량의 경우 0.07% 가량 차이가 있었다. 그러나 유중건조의 경우 0.81% 정도의 차이가 보였는데 이는 건조물의 표면에 형성된 유막과 다공성구조 안에 있는 수분이 증발과정에서 더 많은 에너지가 필요하기 때문이다. 따라서 함수율 측정의 오차를 줄이기 위해선 160min 이상의 건조 시간이 필요한 것으로 사료된다.

휘발분과 회분함량의 경우 습식법과 0.02%, 0.01%의 차이를 보였다. 건조법이 다름에도 불구하고 휘발분의 차이가 분명하지 않다. 하지만 치환된 유류 성분도 측정 온도 범위에서 분해되기 때문에 건조물에 차지하는 유류

Table 4. Results of proximate analysis of CG

Item	HV (kcal/kg)	Moisture(%)		Volatile matter(%)		Ash(%)		Fixed carbon(%)	
		W.M	TGA	W.M	TGA	W.M	TGA	W.M	TGA
Coffee grounds	2,190	64.10	64.01	33.28	33.55	0.71	0.74	1.91	1.70
Heat-dried CG	4,860	9.98	9.29	87.54	89.28	0.65	0.70	1.83	0.73
Oil-dried CG	5,548	9.95	8.14	87.66	90.48	0.68	0.78	1.71	0.60

*W.M : Wet method

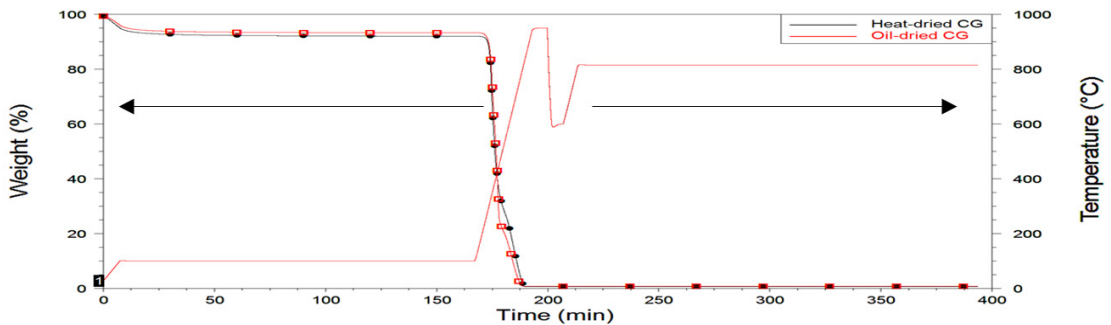


Fig. 1. Results of proximate analysis by TGA

성분의 양은 더 많다고 예상된다. 이는 TG 및 DTG 분석에서 더 고찰하고자한다. 회분함량을 측정하기 위해 기존 제시된 815℃ 180min간의 유지보다 더 짧은 시간인 30min 내외로도 충분한 회분함량을 측정할 수 있었다. 이는 대부분의 성분이 휘발분 측정 범위에서 분해되었기 때문이다.

2.4.2 표면관찰 및 성분측정 결과

일반 커피박, 열풍건조 된 커피박, 유증건조 된 커피박에 대해 각 각 주사 전자현미경을 통해 시료의 300배와 70배 확대하여 표면을 관찰한 결과를 Fig. 2에 정리하여 나타내었다.

일반 커피박의 경우에는 미세한 입자들의 덩어리 형식의 구조를 관찰할 수 있었다. 열풍건조 된 커피박의 경우 다공성의 표면 형태 또는 무늬 형태로 관찰되어 섬유질의 구조를 자세히 관찰 가능하였다. 마지막으로 유증건조의 경우 증발 반응에 의한 다공성표면과 다공성구조에 기름이 덮여 있는 형태를 관찰 할 수 있었다.

에너지 분산 분광 분석법을 통한 각 시료의 성분 측정 결과를 Table 5에 정리하여 나타내었다. 시료 별 공통 사항으로는 환경오염 규제를 위한 NO_x를 유발시킬 물질은 측정되지 않았다. 본래 커피박의 경우 카페인에 의한

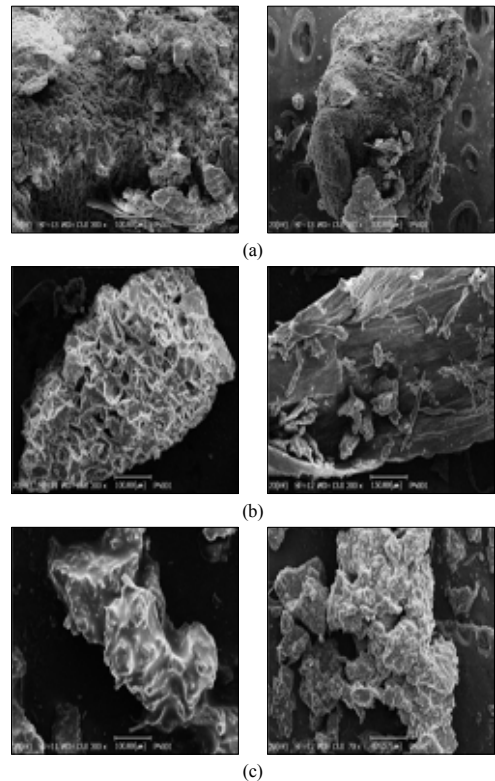


Fig. 2. SEM images of (a)Coffee Grounds, (b)Heat-dried CG, (c)Oil-dried CG

Table 5. Result of EDS Component analysis

Item	C (wt%)	O (wt%)	Mg (wt%)	Al (wt%)	Si (wt%)	P (wt%)	S (wt%)	K (wt%)	Ca (wt%)
Coffee grounds	48.660	50.670	0.280	0.120	-	0.078	0.096	0.032	0.228
Heat-dried CG	49.160	50.450	0.218	-	-	0.030	0.073	0.033	0.164
Oil-dried CG	59.220	40.350	0.257	-	0.145	0.083	0.102	0.043	0.140

N성분이 검출 될 것으로 예측했지만 측정되지 않아 추후에 XRF를 이용한 정량분석을 진행 할 예정이다. S성분의 경우 아주 미량이 검출되었지만 이는 고휘형연료 기준 수치에 만족하여 문제가 없을 것으로 보인다. 유해물질 성분은 분석되지 않았고 보일러의 부식을 일으킬 수 있는 Cl과 같은 성분이나 기타 중금속 또한 측정되지 않았다. 이를 통해 화학 반응과 추가적인 유해성분은 생성되지 않은 걸로 사료된다. 유증건조 된 시료의 경우 탄소의 함량이 다른 시료들에 비해 10wt% 가량 증가하였다. 이는 공정에서 사용되는 유류 성분인 리놀렌산에 의한 탄소성분의 증가로 보인다.

2.4.3 TG와 DTG 분석 결과

열풍건조와 유증건조 된 커피박 시료를 각 각 N2와 Air 분위기에서 온도에 따른 시료의 질량변화를 통해 TG, DTG 곡선을 얻었고, 이를 비교하여 Fig. 3, 4, 5, 6에 나타내었다. Di Blasi와 Branca의 보고 결과, 커피의 주성분인 헤미셀룰로스는 225℃ ~ 325℃, 셀룰로스는 325℃ ~ 375℃, 리그닌은 250℃ ~ 500℃에서 분해된 결과와 유사한 것으로 보였다.[7][8]

유증건조 된 시료와 열풍건조 된 시료는 각 온도에서 다른 기울기가 보이는데 이는 시료별 탈휘발물질이 다르다는 것을 보여준다. 그리고 환원분위기에서와 다르게 산화분위기에서 450℃이후에 추가적인 분해가 일어난 것을 확인할 수 있다. 이는 건조과정에서 생성된 다공성 구조에 커피박에 남아있는 잔여 기름 성분이 더 높은 에너지가 필요하다는 것을 보여준다. 또한, 유증건조 된 시료가 열풍건조 된 시료보다 더 높은 온도에서 감소가 일어나는데 이는 내부 다공성구조 형성으로 인한 것으로 보인다.

열풍건조의 경우 DTG 곡선에서 304℃와 375℃에서 2개의 peak점을 확인할 수 있었다. 이는 커피의 주성분인 헤미셀룰로스와 셀룰로스로 보인다. 반면 유증건조의 경우에는 3개의 피크가 보인다. 열풍건조와 다른 온도에서 열분해 된 peak점은 유증건조 시 내부로 치환된 기름

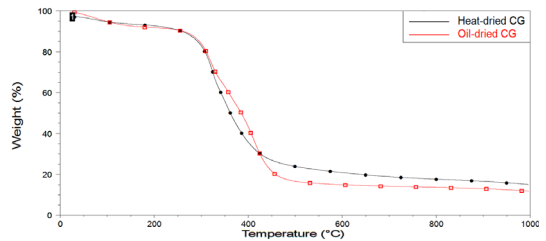


Fig. 3. TG curves of heat-dried and oil-dried coffee grounds in a nitrogen atmosphere

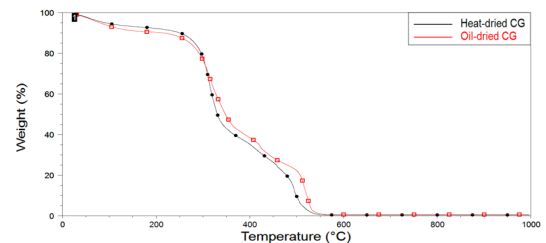


Fig. 4. TG curves of heat-dried and oil-dried coffee grounds in a air atmosphere

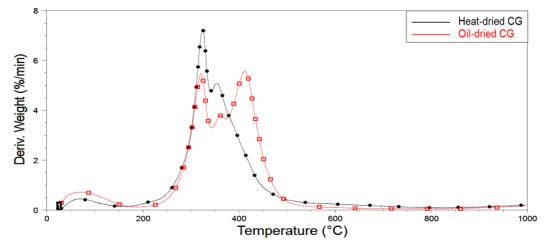


Fig. 5. DTG curves of heat-dried and oil-dried coffee grounds in a nitrogen atmosphere

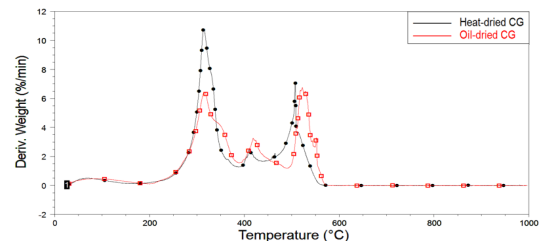


Fig. 6. DTG curves of heat-dried and oil-dried coffee grounds in a air atmosphere

성분으로 보인다. 산화분위기에서 열풍건조 된 커피박은 508°C에서, 유증건조 된 커피박은 527°C에서 peak점이 보였다. 열풍건조의 경우 본래 커피박에 함유되어 있는 잔여 기름 성분으로 사료된다. 또한, 열풍건조와 비교했을 때 유증건조의 경우 225°C ~ 375°C에서 분해되는 양은 적고 400°C ~ 500°C에서 분해되는 양은 많은 것을 볼 수 있다. 이를 통해 2.4.1의 휘발분에 유류성분의 양이 많다는 것을 알 수 있었고, 이는 기존 커피박의 유기물과 수분 대신 증발공정에서 생긴 다공성 구조에 기름이 치환을 보여준다. 그리고 순간적인 증발 반응을 통해 내부의 다공성구조가 발생되고 이렇게 생긴 다공성구조 깊숙이 기름성분이 투입되어 더 고온에서 분해가 이루어진 것으로 보인다. 따라서 열풍건조 커피박 보다 유증건조 커피박의 분해 온도가 더 높기 때문에 연소 시 발화 시간도 더 길다는 것으로 사료된다.

이를 통해 유증건조를 통한 건조 방법이 연료로서의 성능이 더 높다고 사료된다.

2.4.4 CO 및 CO₂ 발생량

Fig. 7은 Standards gas의 크로마토그래프를 나타낸 것으로 Fig. 8, 9와 비교해본 결과, CO발생은 연소 반응 후 20~30min 일 때, CO₂의 경우에는 30~40min에서 가장 많이 발생한 것으로 보이며 350~510°C에서 CO가 가장 많이 발생한 것으로 보인다. CO₂의 경우 510~670°C에서 가장 많이 발생되었으며 이는 커피의 주성분과 기름의 분해온도 영역의 대부분을 차지하는 것으로 두 실험이 일치한다는 것을 보여준다. 차이점으론 열풍건조의 경우 대부분의 시간에서 CO와 CO₂가 유증건조보다 높게 측정되었다.

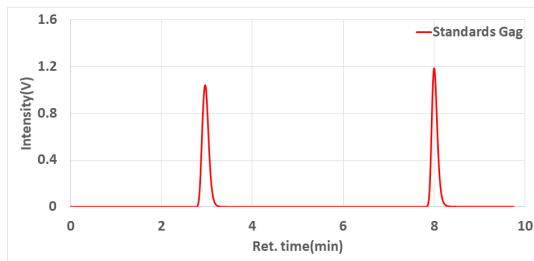


Fig. 7. Result of GC analysis of standards gas

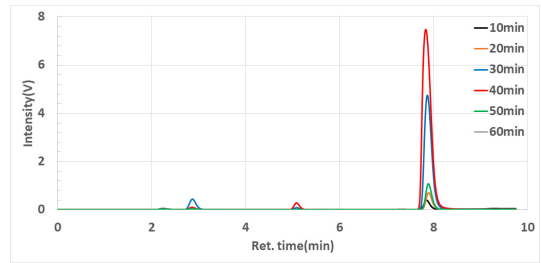


Fig. 8. Result of GC analysis of Heat-dried CG

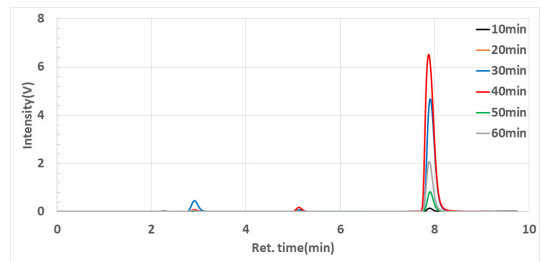


Fig. 9. Result of GC analysis of Oil-dried CG

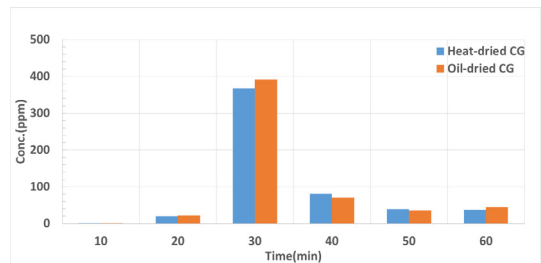


Fig. 10. Carbon monoxide concentration over time

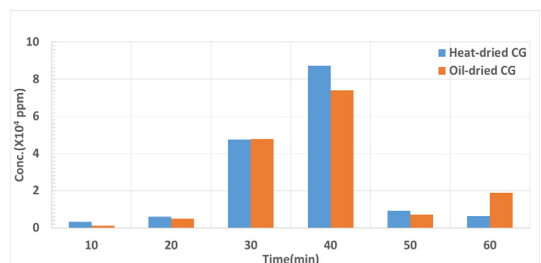


Fig. 11. Carbon dioxide concentration over time

또한, CO와 CO₂의 비율을 보면 대부분이 완전연소 되었다는 것을 볼 수 있다. 이 결과를 정리하여 그림 10과 11에 나타내었다. 차이점으론 유증건조의 경우 50~60min에서 CO₂발생량이 2차적으로 증가하였다. 이는 가열매체로 사용한 기름에 의한 발생으로 예상된다.

3. 결론

본 연구는 커피박의 연료화를 위한 열풍건조와 유증 건조 방법에 따라 각 시료에 대한 발열량 비교와 열중량 분석기를 이용한 공업분석 진행과 SEM-EDS를 이용한 입자 구조와 성분측정을 하였다. 이를 토대로 열분해와 연소반응의 차이점에 대해 고찰해보았고 연소 시 환경오염에 문제가 될 수 있는 CO와 CO₂를 GC장비를 이용하여 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열중량분석기를 이용한 공업분석 시 함수율 측정은 유증건조 된 시료를 사용할 때에는 100℃에서 160min 이상을 가열하여야 습식법과의 오차를 줄일 수 있다.
2. 열중량분석기를 이용한 공업분석 결과 습식법과 유사한 결과가 나타나 유기성 폐기물의 분석법에 반영하여도 문제없을 것으로 보인다.
3. 산화분위기와 환원분위기에서 확연한 분해 차이는 건조과정에서 발생하는 다공성구조와 완전연소의 유무에 의한 것으로 보인다.
4. 커피박 시료는 연소반응 20~30min 일 때 CO발생량이 가장 많고 30~40min에 CO₂가 제일 많이 발생된다.
5. 연구를 통해 열풍건조 공법보다 유증건조 공법이 더 효과적인 연료화 공정으로 보인다.

References

- [1] Je-yong Chae, "Diffusion of bio oil as fuel for power generation from next year, 2018.
DOI : <http://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=202113>
- [2] Hyun-sook Kim "A Study on Effect of Horticultural Crops Growth by Mixing ratios of coffee residue compost", Hansei Univ. publishers, pp. 1-3, 2016.
DOI : <http://dl.nanet.go.kr/MarcView.do?cn=KDMT1201722646>
- [3] Baquero, M.C., Giraldo, L., Moreno, J.C., Suarez-Garcia, F., Martinez-Alonso, A., Tascon, J.M.D. "Activated carbons by pyrolysis of coffee bean husks in presence of phosphoric acid", Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 70(2): 779-784, 2003.
DOI : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016237002001808>
- [4] Ahn, S.H. "Effect of heating temperature and time of coffee waste on the adsorptivity of formaldehyde", Journal of the Korean Wood Science and Technology 43(3): 390-399, 2015.
DOI : https://www.researchgate.net/scientific-contributions/35936287_Sye_Hee_Ahn
- [5] So-Yeon Park, Sang-Bin Kim, Jin-Wook Ha, "A Study

on the RDF making Process of Heat-dried Sludge from Cheonan by using Oil-drying Method", Proc. of KAIS conference, Vol. 19, No. 2, pp.660-667, 2018.

DOI : <http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE07397161>

- [6] Sang-Woo Lee, Ki-Heon Kim, Dong-Gun Hwang, Heung-Min Yoo, "A Study on Establishment of Proximate Analysis Method of Waste by TGA", J. of Korea of Waste Management, Vol. 31, No. 4, pp. 382-387, 2014.
DOI : <http://www.jkswm.or.kr/journal/article.php?code=3109>
- [7] Wang, G, Li, W., Li, B. and Chen, H., "TG study on pyrolysis of biomass and its three components under syngas", Energy & Fuels, Vol. 87, No. 4-5, pp. 552-558, 2008.
DOI : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016236107001111>
- [8] Yang, H., Yan, R., Chen, H. P., Zheng, C. G, Lee, D. H. and Liang, D. T., "In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components": hemicellulose, cellulose and lignin, Energy & Fuels, Vol. 20, pp. 388-393, 2006.
DOI : <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ef0580117>

김 상 빈(Sang-bin Kim)

[정회원]



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

<관심분야>

폐기물자원화, 신재생에너지, 환경공학

하 진 옥(Jin-wook Ha)

[정회원]



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

<관심분야>

폐자원에너지화, 화학공학, 환경공학