

과열증기를 이용한 음식물류폐기물 탄화물의 물리화학적 특성

김남찬[†]

광운대학교 환경공학과

Physicochemical Characteristics of Food Waste Carbide Treated with Superheated Steam

Nam-Chan Kim[†]

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

Received July 29, 2009/Accepted December 21, 2009

A carbonization of food wastes produces less moisture, less volatile compounds and more fixed carbon than a hot air drying process. This is due to relative higher efficiencies of water removal mechanism and volatilization phenomena. The removed water includes surface water, interstitial water and water bounded inside food wastes. The moisture contents were reduced by 4.28%, the volatile compounds were decreased by 15.3% and the fixed carbon contents were increased by 6.56%. The carbides produced from the carbonization of food wastes at 50°C were proved to be effective as fuel aids with heat capacity of 2,781 kcal/kg. The carbides showed pH range of 8~9.5 and the salt contents were about 1% that is a little higher than that of the original material. This is because the organic salts, which were converted into tar and re-adsorbed in the carbonization process, contributed to a higher salt contents of carbides. This slightly increased salt contents in carbides exhibit no potential harm to functional aspects as fuel aids. The carbides contain 178 ppm lead, 97.3 ppm chromium and 3.3 ppm cadmium that are by far below the standard limits suggested for the heavy metal contents of compost.

Key words: Food Waste, Carbide, Superheated Steam, Heavy Metal Concentration

1. 서 론

최근 심각한 사회문제로 대두되고 있는 음식물류 폐기물은 기존의 사료화 또는 퇴비화와 같은 공법으로 처리할 경우 유가상승에 따른 지속적인 건조비용의 상승과 부산물의 품질저하로 인하여 대부분 유상판매가 어려워 시설운영상의 심각한 문제를 야기하고 있다. 또한, 처리과정에서 발생하는 다량의 탈리액은 높은 유분, BOD 및 COD 농도 등에 의하여 효과적인 폐수처리가 어려워 발생량의 80% 이상을 사실상 해양투기에 의존하여 왔으나 2011년부터 해양투기가 전면 금지됨에 따라 이에 대한 대안으로 탄화처리가 주목받고 있다.¹⁾ 탄화처리는 재래 목탄제조 기술을 폐기물 처리 분

야에 적용한 것으로 소각과 같은 열적 산화공정과 달리 환원분위기에서 처리되기 때문에 유기물 내의 산소 또는 수소원자는 휘발되어 결과적으로 탄소와 회분만이 고정되게 된다. 이러한 양질의 탄화물은 고체연료, 흡착제, 흡취제 및 토양개량제 등으로의 고부가가치 재 활용이 가능하며 소각 수준의 감량화를 기대할 수 있다. 과열증기는 포화온도 이상으로 가열된 증기를 말하며 복사열에 의한 직접적인 열전달이 이루어지기 때문에 일반 hot steam에 비하여 우수한 열전달과 열량을 가지게 된다.²⁾ 따라서, 본 연구에서는 국내에서 새로운 처리방안을 모색중인 음식물류 폐기물을 대상으로 과열증기를 이용하여 탄화처리를 실시하고 그에 따라 발생한 탄화물의 성능을 평가하여 재활용 가능성을 도출

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: +82-(0)2-940-5182, Fax: +82-(0)2-911-2033, E-mail: kimnc@kw.ac.kr

하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 실험 장치

본 연구에서는 온도조건에 따른 음식물류 폐기물의 탄화특성을 관찰하고자 Fig. 1과 같이 탄화로(I.D. 2 inch×L. 12 inch)를 제작하였다. 탄화로는 열과 과열증기에 의한 부식을 방지하기 위해 SUS 316을 사용하여 제작하였다. 탄화로 내부에 K-type의 열전대를 설치하고 과열증기를 투입하여 탄화에 필요한 적절한 온도를 유지하였으며 과열증기는 탄화로 내에서 투입된 음식물류 폐기물과 충분히 반응하도록 4개의 노즐을 통하여 공급하였다. 또한, 탄화로 외부에 heat jacket을 보조 열원으로 설치하여 반응기 내부의 온도가 적절히 유지되도록 하였다.

2.2. 실험 방법

준비된 시료를 투입한 후 반응기가 환원분위기를 유

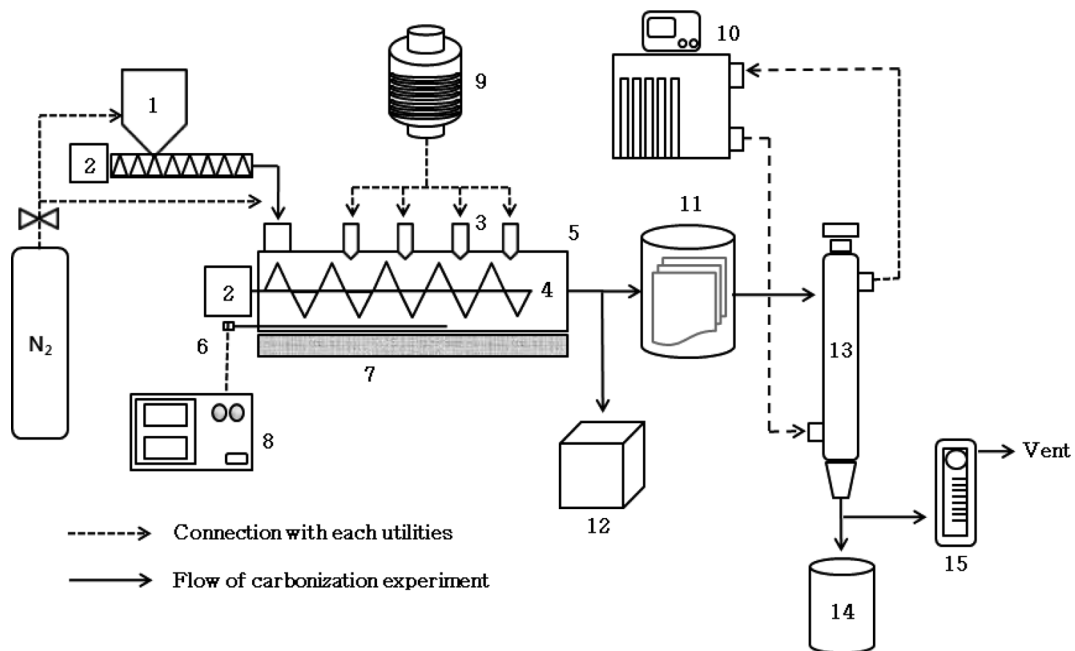
지하며 양질의 탄화물을 생성할 수 있도록 공기유입을 방지하기 위하여 각 배관 및 장치의 기밀을 최대한 유지하였으며 N₂ 가스로 충분히 purging하여 탄화물의 산화를 방지하며 실험을 수행하였다. 실험 종료 후 생성된 탄화물은 공기와의 접촉에 따른 재연소를 방지하기 위하여 충분히 냉각한 후 회수하였다.

제조된 시료 및 탄화물의 물리화학적 특성을 평가하기 위하여 공업분석 및 원소분석(EA-1110, CES Ins.)을 실시하였으며 고체연료로서의 가치를 판단하기 위하여 발열량을 Bomb Calorimeter(FTT Calorimeter)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 음식물류 폐기물의 기본물성

탄화실험을 수행하기 전 시료로 사용된 음식물류 폐기물의 기본 물성을 판단하기 위하여 공업분석 및 원소분석을 실시한 결과를 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 음식물류 폐기물의 함수율은 약



- | | | |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1. Hopper and Screw Feeder | 6. Thermocouple | 11. Hot Filter |
| 2. DC-Motor Controller | 7. Heat Jacket | 12. Char Collector |
| 3. Nozzle | 8. PID Controller | 13. Condenser |
| 4. Screw Feeder | 9. Superheated Steam Generator | 14. Condensed Liquid Collector |
| 5. Carbonizer | 10. Chiller | 15. Gas Flow Meter |

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1. Approximate and ultimate analysis of food waste

Approximate analysis[wt%]				Ultimate analysis[wt%, dry basis]				
Moisure	Volatiles	Fixed carbon	Ash	C	H	O	N	S
80.64	10.71	1.86	6.79	49.61	6.71	38.86	4.82	0.00

81%였으며, 회분은 8%, 휘발분과 고정탄소의 함량은 각각 10.71%와 1.86%로 나타났다. 수분과 회분을 제외한 가연분의 화학적 조성은 C가 49.61%, O가 38.86%로 대부분을 차지하였다. 탄화시 악취를 유발할 수 있는 S의 경우 거의 존재하지 않은 것으로 나타나 황화수소와 같은 악취물질은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

음식물류 폐기물을 포함한 유기성 폐기물의 발열량을 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이 음식물류 폐기물은 수거시기에 따라 차이를 보이고 있으나 고위발열량(HHV)은 약 3,300~4,800 kcal/kg으로 비교적 높은 값을 나타내는 것으로 조사되었다. 그러나 수분의 응축잠열을 제외한 저위발열량(LHV)의 경우 177~418 kcal/kg으로 현저하게 발열량이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 함수율이 대체로 유사한 하수슬러

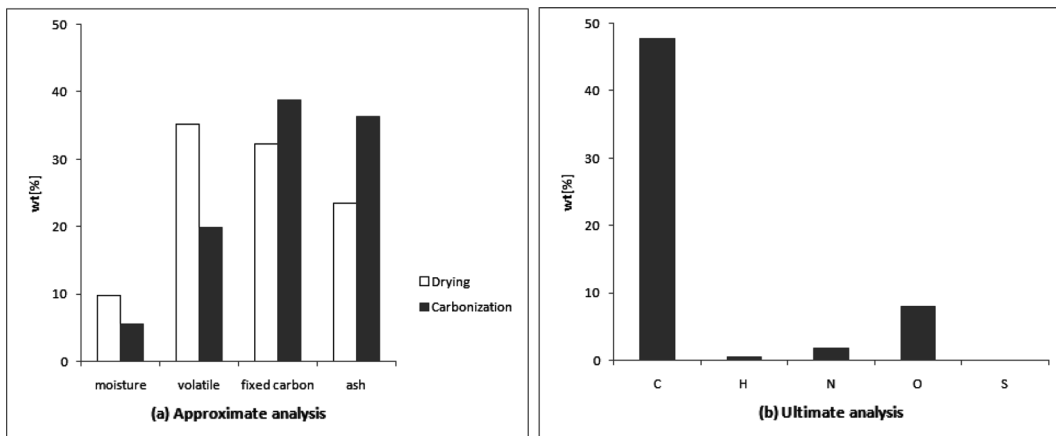
지의 경우에도 이와 유사한 결과를 보여 함수율이 높은 폐기물의 탄화처리시 반드시 일정수준 이하로 함수율을 낮춰야 할 필요성이 있음을 예상할 수 있다.

3.2. 탄화물의 물리화학적 조성

동일한 음식물류 폐기물을 이용하여 일반적인 건조 조건인 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 열풍건조한 건조물과 탄화의 최적조건으로 알려진 500°C 에서 생성된 탄화물의 공업분석 결과를 비교하여 Fig. 2의 (a)에 나타내었다. Fig. 2의 (a)에서 보는 바와 같이 건조물에 비하여 탄화물의 수분은 4.28%, 휘발분은 15.3% 낮았으며 고정탄소는 6.56%, 회분은 12.75% 높게 나타났다. 이것은 수분의 경우 표면수를 포함한 interstitial water 및 bound water의 건조가 탄화조건에서 발생하며 상당량의 휘발분이 제거되기 때문으로 판단된다. 또한, 휘발분의 저감에 따라 탄소가 고정되는 것을 확인할 수 있었다.³⁾ 탄화물의 경우 처리대상 물질에 따라 탄화처리에 필요한 적정온도, 가열방식의 선정, 탄화물의 고정탄소 함유율 및 수탄율 등이 모두 다르고 품질에 대한 정해진 기준이 존재하지 않아 일원화하기 어렵다. 그러나 일반적으로 연료로서 사용하기 위한 탄화물의 기본조건은 휘발분 함량 최대 30% 이하, 고정탄소 함량 최소 10% 이상이며 색은 흑색 및 취기는 무취의 조건이 충족되어야 한다. 그러나 우수한 연료로서 탄화물의 가치

Table 2. Heating value of various organic sample

Samples	Heatinf Value(kcal/kg)		
	HHV	LHV	
Food Waste	No. 1	4431.9	411.2
	No. 2	4797.1	417.5
	No. 3	3292.3	176.8
Sawdust	4045.3	-	
Sewage Sludge	2879.7	151.4	

**Fig. 2.** Approroximate and ultimate analysis of char collected from food waste

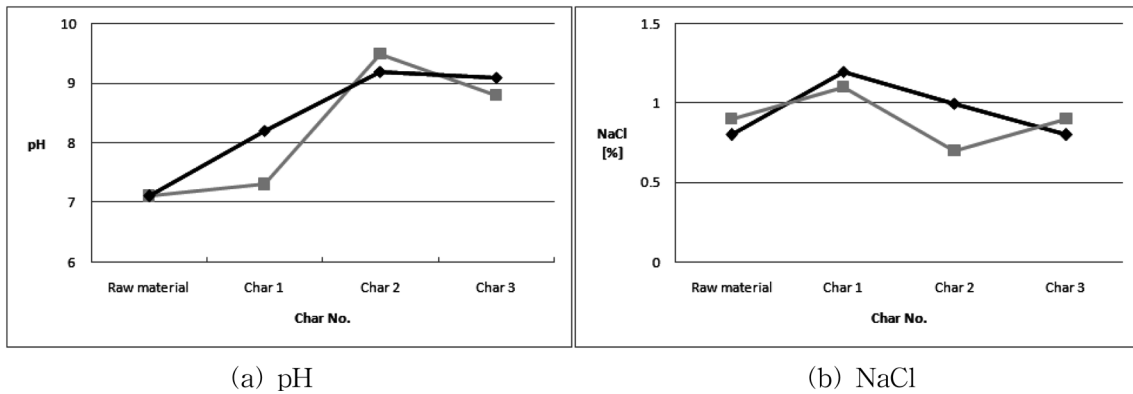


Fig. 3. pH and NaCl of carbide recovered at 500°C.

를 평가받기 위해서는 휘발분 15% 이하, 고정탄소 30% 이상을 권장하고 있다.⁴⁾ 따라서 본 실험을 통하여 얻어진 탄화물의 경우 휘발분의 함량이 19.8%로 다소 높기는 하나 대체로 우수한 연료로서의 기준을 만족하는 것으로 판단된다. Fig. 2의 (b)에서 보는 바와 같이 탄화물내 C의 함량 47.71%, O의 함량은 7.99%로 나타났다. 이것은 회분을 제외한 가연분의 분석결과로 탄화된 음식물류 폐기물에 비하여 C함량이 약 65% 증가한 것으로 탄화를 통하여 탄소가 고정됨을 확인할 수 있었다. 탄화물의 발열량은 Bomb Calorimeter를 이용하여 측정한 결과 약 2,781 kcal/kg 으로 나타나 연료로서 충분히 사용가능한 것으로 판단된다.

앞의 논문⁵⁾에서 기술한 바와 같이 탄화의 최적 조건인 500°C에서 회수된 탄화물의 pH와 염분농도를 원시료와 함께 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 pH 약 7.2의 원시료를 탄화시킬 경우 pH가 상승하여 약 8~9.5의 약알칼리성을 보였으며, 탄화물내에 존재하는 염분농도는 약 1% 전후로 큰 문제를 일으키

지 않을 것으로 생각된다. 일반적으로 탄화가 본격적으로 시작하기 전인 300°C에서는 염소중 95%가 char에 존재하며 아직 tar나 가스상으로 이동되지 않는 것으로 알려져 있다.⁶⁾ 온도가 300~400°C로 상승하면 원시료에 포함된 염분중 유기염소가 휘발되어 줄어들며 대부분은 tar로 이동한다. 이후 온도가 600°C까지 계속 증가함에 따라 tar로 이동한 염소가 열분해후 재탈착되어 char에 흡착됨으로써 농도가 증가하게 된다.

향후 탄화물을 재활용할 경우 탄화물내에 존재하는 중금속은 2차 환경오염을 유발하게 되므로 탄화물의 가치를 평가할 때 매우 중요한 항목으로 알려져 있다.⁷⁾ 500°C에서 회수한 음식물류 폐기물 탄화물의 중금속 농도를 Table 3에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 탄화물에는 Pb가 178 ppm, Cr이 97.3 ppm 및 Cd가 3.3 ppm 포함된 것으로 나타났으며 이는 부속도의 제품기준을 만족하는 농도범위이다.

4. 결 론

음식물류 폐기물을 일반적인 열풍건조가 아닌 탄화 처리할 경우 표면수를 포함한 interstitial water 및 bound water의 건조 및 환원조건에서의 휘발분 휘발로 인하여 건조물보다 수분은 4.28%, 휘발분은 15.3% 낮았으며 고정탄소는 6.56%가 높음을 확인하였다. 500°C에서 얻어진 음식물류 폐기물의 탄화물은 휘발분의 함량이 다소 높기는 하나 탄화물의 연료로서 권장기준을 대체적으로 만족하며 약 2,781 kcal/kg의 발열량을 보여 연료로서의 사용이 충분히 가능할 것으로 판단된다.

음식물류 폐기물 탄화물은 약 8~9.5의 pH 분포를 보여 약알칼리성의 물성을 보였으며 tar로 전환되었던

Table 3. Heavy metal concentration of carbide recovered at 500°C

name	unit	Char No.			Mean
		No. 1	No. 2	No. 3	
Cd	mg/kg	3.6	3.1	3.3	3.3
Pb	mg/kg	183	172	179	178
Cr	mg/kg	100	93	99	97.3
CN	mg/kg	8.6	9.3	8.9	8.9
As	mg/kg	5.2	4.8	5.1	5.0
Hg	mg/kg	0.04	0.04	0.03	0.04
Zn	%	0.14	0.13	0.14	0.14
Cl	mg/kg	360	362	362	361

유기염소의 재흡착에 따라 염분의 농도가 원시료에 비해 다소 증가하였으나 1% 전후로 존재하여 크게 문제는 없을 것으로 판단된다. 회수된 탄화물의 중금속 농도는 Pb가 178 ppm, Cr이 97.3 ppm 및 Cd가 3.3 ppm 등이었으며 이는 부속도의 제품기준을 만족하는 농도범위이다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부, “음식물 쓰레기 감량자원화 사업 추진성과 평가 및 장기 개선방안에 관한 연구”, 2003.
2. 이창하, 이현철, “NICE”, 2003, 21(1), 45-50.
3. 최병순, “환경관리학회지”, 1999, 5(2), 457-462.
4. 박상우, “한국폐기물학회지”, 2005, 22(3), 226-235.
5. 김남찬, 김성환, 엄민섭, “한국환경분석학회지”, 2009, 12(2).
6. 장은석, 김승도, 엄유진, 송동근, 박중호, 정재성, 공성호, 김승수, “한국폐기물학회지”, 2004, 21(1), 67-82.
7. Ercin, D. and T. Yuda, “J. of Anal. Pyrolysis”, 2003, 67, 11-22.