

산업단지폐기물의 무기물질 구성 특성

정문현*, 이주호*, 권영현*, 이강우**, 이재정**, 손병현*

*한서대학교 환경공학과,

** (주)유성 중앙연구소

e-mail:nice122@nate.com

Chemical compositions of inorganics in industrial complex waste

Moonheon Jeong*, Juho Lee*, Younghyun Kwon*, Gangwoo Lee**,

JaeJeong Lee**, Byunghyun Shon*

*Dept of Environmental Engineering, Hanseo University

**YOO SUNG Co. Ltd., R&D Center

요 약

고형연료(RDF)는 가연성 폐기물을 성형된 형태로 만드는 것으로 화석연료의 대체 에너지로 이용될 수 있을 뿐만 아니라 일반 소각설비에 비해 수송성, 저장성이 뛰어나며 발열량이 거의 일정하여 연소 안정성이 우수하고 액체연료나 기체연료의 비해 경제성과 안정성이 높다는 장점이 있다.

하지만 고형연료의 미량 포함되어 있는 중금속 물질에 의해 연소장치의 부식이나 시설 노후 촉진화와 같은 원인을 제공하며, 심각한 환경오염원의 전구물질이 생성될 수 있어 실용화에는 큰 장애 요인이 되고 있다.

따라서 본 연구에는 고형연료의 재료가 되는 폐기물을 분석하여, 중금속성분이 미치는 영향을 조사하고 부존자원의 최적 이용 방안을 도출하며, 이를 바탕으로 부존자원 액상/고상 연료화 기술, 부존자원 복합이용시스템, 폐열활용 시스템과 같은 기술에 적용하여 부존자원 재활용 및 에너지를 최적 활용할 수 있는 D/B 구축을 하는 것이 최종 목표이다.

1. 서론

최근 국제유가의 급격한 상승은 화석연료의 절대량을 해외로부터 수입하는 우리나라에 심각한 문제로 대두되고 있다. 또한 2013년 이후 기후변화협약의무이행 대상국에 포함될 것이 확실시됨에 따라 온실가스 감축목표 설정과 맞물려 청정 및 대체 에너지의 개발과 활용이 절실한 실정이다. 여러 가지 신·재생 에너지 중 폐기물의 열적에너지를 이용하는 방법이 에너지원의 잠재적 가치를 비교하였을 때 가장 유망한 방법으로 인정받고 있다. 폐기물을 에너지원으로 이용하는 방법에는 i)직접 소각에 의한 열 회수이용기술, ii)폐기물 고형연료(RDF)로 가공 후 이용기술, iii)열분해(pyrolysis, gasification)에 의한 액체연료 또는 가스 연료화 기술 등이 있다. 이 세 가지 방법 중에서 경제성과 효율성을 고려할 때 가연성의 폐기물을 고체 연료로 가공하는 폐기물 고형연료(RDF : Refuse-Derived Fuel)화 기술이 현실

적이고 경제적인 방법으로 확인되고 있다.[1]

하지만 원료가 되는 산업폐기물의 종류에 따른 연소 시 발생하는 유해가스(HCl이나 Dioxin과 같은 유해가스의 전구물질) 및 중금속오염 등의 문제를 발생시킨다. PVC와 같은 물질이 Cl을 발생시키는 대표물질이며, alkali metal chloride, alkaline earth metal chloride 형태의 물질도 대표물질 중에 하나이다.[2],[3]

본 연구에는 두개의 산업단지에서 발생하는 고형연료의 재료가 되는 폐기물을 SEM-EDS를 사용하여 원소분석 및 중금속 농도를 분석한 후, 미량 중금속의 발생원 및 소각 시 중금속이 미치는 영향과 고형연료화 시키는 연료의 재료가 무엇인지 알 수 있는 D/B를 제공하고자 한다. 또한 이를 부존자원 복합이용시스템, 폐열활용 시스템과 같은 기술에 적용하여 부존자원 재활용 및 에너지를 최적 활용할 수 있는 D/B 구축에 기본 자료를 제공하고자 한다.

[표 1] B산업단지 내 폐기물 시료 특성

기업	시료명	분석폐기물	업종	기업	시료명	분석폐기물	업종		
O	O-1	폐합성수지	전기, 전자	R	R-1	폐합성수지	식료품 제조업		
	O-2	폐합성수지			R-2	폐합성수지			
	O-3	폐목			R-3	폐합성수지			
P	P-1	폐합성수지	자동차 제조업		S	S-1		폐목	선박 가구제조
	P-2	폐합성수지				S-2		폐목	
	P-3	폐합성수지			T	T-1		폐 섬유	원단 염색
	P-4	폐목		T-2		폐 섬유			
	P-5	폐목		T-3		폐 섬유			
	P-6	폐지		U		U-1	폐 섬유	염색 가공	
Q	Q-1	폐합성수지	폐기물 업체		U-2	폐 섬유			
	Q-2	폐합성수지			U-3	폐 섬유			
	Q-3	폐합성수지			U-4	폐 피혁			
	Q-4	폐합성수지							
	Q-5	폐합성수지							
	Q-6	폐합성수지							
	Q-7	폐목							
비고	7개 업체, 28개 시료수거								

2. 실험 및 고찰

2.1 시료

고형연료의 재료가 되는 폐기물을 분석하기 위해 B산업단지의 폐기물을 샘플링 하였다. B산업단지는 폐기물의 발열량이 큰 가연성 폐기물을 중심으로 총 5개 업체에서 21개의 시료를 채취하였다. 각 시료마다 5회 분석하여 평균값을 사용하였다. 또한, 추가적으로 B산업단지의 염색공장에서 사용된 폐섬유와 폐피혁을 추가적으로 분석하였으며, [표 1]과 같이 나타내었다.

또한, B산업단지에서 나온 폐기물(페타이어, 폐지, 폐합성수지)을 이용하여 고형연료를 만들어 실험에 사용하였다. 산업단지에서 발생하는 부존자원은 산업단지 내 공단 또는 산업 활동 중인 공정 내에서 버려지는 부산물 또는 폐기물로서 대부분이 선별되어 있지 않거나 여러 가지 폐기물이 혼합되어 있는 상태로 폐기물 처리 회사에 반입되고 있다. 따라서, 대상 시료는 파쇄 및 성형이 쉬운 페타이어, 폐지, 폐합성수지를 선정하여 전체를 대표할 수 있도록 하였다.

혼합시료의 조성 비율은 폐합성수지류가 접촉제 역할을 어느 정도 하는지 알아보기 위해 다른 비율로 혼합 하였으며 [표 2]에 자세히 그 혼합비율을 나타내었다.

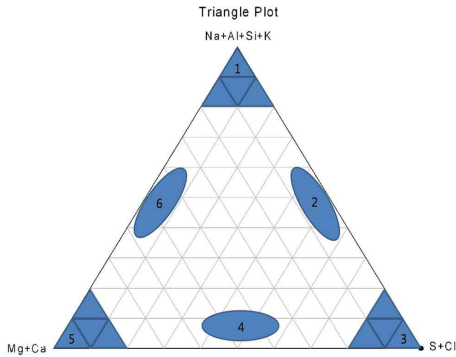
[표 2] B 산업단지 고형연료 단일시료 및 혼합시료 조성비(%)

구분	페타이어	폐지	폐합성수지	시료명	
단일 시료	1	100		Z-1	
	2		100	Z-2	
	3		100	Z-3	
혼합시료	4	20	10	70	Z-4

2.2 Triangle Plot

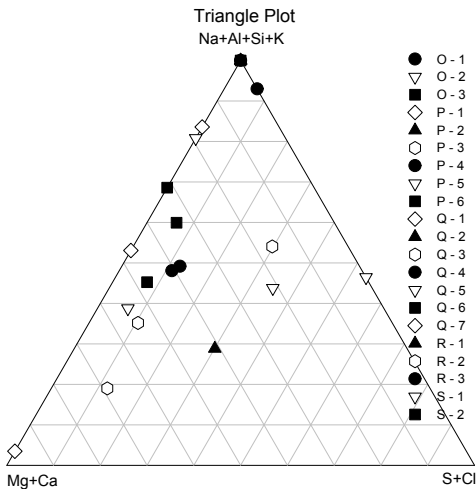
Triangle plot은 삼각형의 그래프로 [그림 1]과 같이 각 끝의 모서리와 모서리 사이의 면에 [표 3]에 제시된 원소를 대입하여 시료의 원소분포와 형태를 알 수 있다. 각 모서리 지 역 1, 3, 5로 갈수록 Na+Al+Si+K, S+Cl, Mg+Ca 성분이 많은 것을 의미하며 반대쪽 모서리로 갈수록 감소하며, 임의의 한 점에서의 합은 100%이다. SEM-EDS로 분석 가능한 원소는 Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sn, Pb이지만 Na, Al, Si, K, S, Cl, Mg, Ca만 표에 나타난 이유는 전체 분석결과 Na, Al, Si, K, S, Cl, Mg, Ca이 전체 분석값의 80 ~ 100%를 차지하고 나머지 원소들의 양은 극히 미량으로 검출되어 8개의 원소로만 그 그래프를 작성하였다. 이 면적들은 일반적으로 산업폐기물에서 관찰되는 무기성분들의 대략적인 조성의 분포

한계를 나타낸 것이다.*



[그림 1] Triangle Plot. (1)sand, (2)alkali metal chlorides, (3)PVC, (4)gypsum and calcium chloride, (5)lime, (6)calcium silicate.[3]

3. 결과 및 고찰



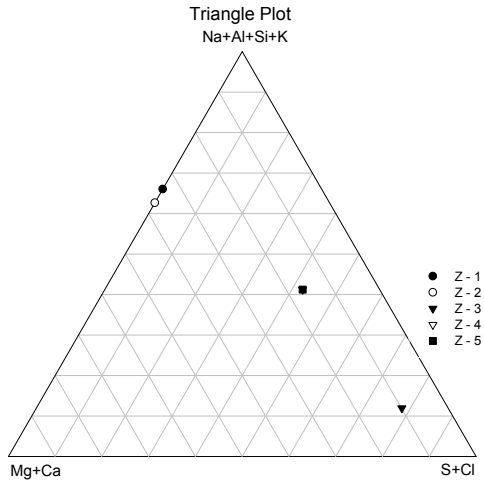
[그림 2] B산업단지의 폐기물 특성

[그림 2]은 B산업단지의 분석 그래프를 나타낸 것이다. 주로 Alumina-silicates와 Calcium chloride 쪽의 분포가 많이 되어있다. 21가지 재료 중에 O-1, P-2, P-5, Q-7, R-1, R-3 S-2의 샘플에서 92.94%, 100%, 80.77%, 83.56%, 100%, 100%, 100%의 높은 Na, Al, Si, K 함량을 나타내었다. 이 또한, A산업단지와 마찬가지로 Si성분이 대부분을 차지하였고 협잡물에 의한 Sand 형태의 폐기물 성상이라고 생각된다. A산업단지는 분포가 골고루 퍼져있어 어떤 성분의 폐기물성상이라는 정의를 내리기 힘들었으나 A산업단지와는 다르게 B산업단지는 폐기물성상이 O-2(Cl+S : 35%, Na+Al+Si+K : 43.75%, Mg+Ca : 21.25%), O-3(0, 68.57, 31.43), P-3(27.73, 54.05, 16.22), P-4(11.3, 48.02, 40.68), P-6(6.33, 59.93, 33.74), Q-1(0, 53.06, 46.94), Q-2(30.05, 28.84, 41.11), Q-3(10.47, 35.16, 54.37), Q-4(12.46, 49.13, 38.41), Q-5(6.52, 38.75, 54.73), Q-6(7.37, 45.23, 47.4)로 Calcium chloride의 형태의 폐기물 성상을 보이고 있다.

추가로 분석한 T기업과 U기업의 폐기물을 분석한 결과 다른 폐기물에서는 없거나 너무 미량이라 무시하여도 되는 양의 중금속성분이 검출되었지만, 염색 폐섬유와 폐피혁의 경우 모든 폐기물과 달리 Cr, Ti, Cu, Zn과 같은 중금속성분이 전체분석 결과의 60 ~ 100%를 차지하는 경우가 많았으며, U-2의 시료의 경우는 C, O를 제외한 원소는 발견되지 않았다. 이는 T사와 U사가 염색공장인 점을 미루어 천이나 가죽을 염색 시, 사용되는 약품의 물질이 중금속함량이 높아 이런 결과가 나왔을 것으로 판단된다.

[표 3] RDF에 함유되어 있는 무기물질의 분류(%)[3]

	Area	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe
Natural sand				100						
Silicon dioxide	1			100						
Alumina-silicates	1	<10	10-20	50-70			20-30			
Calcium alumino silicates	6	<10	20-30	50-60				10-20		
Salt										
Sodium chloride	2	40-60				40-60				
Potassium chloride	2					40-60	40-60			
Calcium chloride	4					40-60		40-60		
Lime	5							100		
Gypsum	4				40-60			40-60		
Polyvinylchloride	3					100				
Titanium oxide									100	
Metallic aluminium			100							
Metallic iron or iron oxide										100



[그림 3] B고형연료의 폐기물 특성

[그림 3]는 B고형연료를 분석한 그래프로 Z-3에서 Cl, S 함량이 78.14%로 PVC 계열의 원료임을 보여주고 있다. Z-1, Z-2는 Cl, S가 검출되지 않았으며 Na, Al, Si, K의 함량이 66.03%, 62.65% Mg, Ca 함량이 33.97%, 37.35% 검출되어 Calcium chloride 형태의 폐기물 성상을 나타내며 Z-4와 Z-5는 모든 폐기물을 혼합하여 만든 것으로 Cl, S 함량이 42.31%, 44.13% Na, Al, Si, K의 함량이 41.21%, 44.84% Mg, Ca 함량이 16.48 44.1.03%6.4odium and Potassium chloride형태의 폐기물 성상을 나타낸다. Z-1에서 중금속 Fe와 Zn이 검출되었고, Z-2에서 Fe가 검출되었다. 혼합시료인 Z-4, Z-5에서 Fe와 Zn이 검출되었으며, Z-1, Z-2의 비율적 함량과 Z-3의 비율적 함량을 합하여도 원소적인 변화는 없었다. Fe의 검출은 압축성형기의 의해서 성형 시 검출 된 것으로 보인다.

4. 결론

B산업단지 폐기물시료, B고형연료 모두 미량이지만 Cl이 검출되었다. 적은양의 고형연료를 연소 할 경우는 문제가 없지만 많은 양의 고형연료를 연소 시 열회수 장치의 부식과 같은 문제가 발생 될 것으로 예상되어 후처리 시 건식 또는 반건식 반응기로 소석회, 활성탄을 주입하여 처리 하는 방법을 모색 중이다.

B산업단지의 염색공장의 분석결과 중금속이 대부분을 차지하였다. 이것은 염색 시 사용되는 약품과 장치의 문제로 사료되며, 염색공장은 다른 폐기물과 분류하여 좀 더 정확한 분석을 필요로 한다. 또한, 본 연구에서 대표적인 그래프인 triangle plot과 [표 3]에 의해 지표가 되는 무기물질과는 일치하지 않아

도식화 시키지는 못하였다.

B산업단지에서 염색공장을 제외한 모든 시료에서 협잡물에 의한 Si성분이 과다 검출되어 분석 시 보다 정확한 분석이 되지 않았으며, 폐기물 분류 및 혼합 시 협잡물을 제거하여 분석하게 되면 더욱 정확한 데이터를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

앞으로 연소테스트를 통하여 검출되는 중금속 성분과 무기물질 중 연소장치와 후처리장치에 미치는 영향과 부식이나 시설노후 촉진화의 대비책을 연구해야 할 것이다. 또한, D/B를 구축 후 산업폐기물의 고형연료화 기술, 산업 고형연료 복합이용시스템, 폐열활용 시스템, 복합 후처리장치 설계 시 기본 자료로 사용 할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 08지역기술혁신B-03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 이동수, 이종석, 광현, 배성렬, "폐기물 고형연료(RDF)의 연소 특성", J. Korea Society of Waste Management Vol. 22, No. 1, 101~112(2005).
- [2] 배성근 : 특집 최신 소각기술의 현황과 전망(1), 도시쓰레기와 하수슬러지의 혼합소각기술, Journal of Korea Solid Wastes Engineering Society, Vol. 18, No. 3, 3948(2001)
- [3] H.J. Ollila, A. Moilanen, M.S. Tiainen, R.S. Laitinen. "SEM-EDS characterization of inorganic material in refuse-derived fuels.", FUEL 85(2006) 2586-2592.
- [4] Vera Susanne Rotter, Thomas Kost, Joerg Winkler, Bernd Bilitewski. "Material flow analysis of RDF-production processes.", Waste Management 24(2004) 1005-1021.
- [5] Risto Oikari, Martti Aho, Rolf Hernberg, "Demonstration of a New On-line Analyzer for the Measurement of Vaporized Toxic Metal Compounds in a Fluidized Bed Combustor.", Energy & Fuels(2003), 17, 87-94.
- [6] Minna Tiainen, Jouni Daavitsainen, Risto S. Laitinen. "The Role of Amorphous Material in Ash on the Agglomeration Problems in FB Boilers. A Powder XRD and SEM-EDS Study.", Energy & Fuels(2002), 12, 871-877.