

SEM-EDS를 이용한 산업단지폐기물과 고행연료의 무기 성분 규명

정문현¹, 이주호¹, 유정근², 이강우³, 손병현^{1*}
¹한서대학교 환경공학과, ²한서대학교 화학공학과, ³(주)유성 중앙연구소

Characterization of inorganic materials in industrial waste and RDF using SEM-EDS

Moon-Heon Jeong¹, Ju-Ho Lee¹, Jeong-Kun Yoo², Gang-Woo Lee³
and Byung-Hyun Shon^{1*}

¹Dept of Environmental Engineering, Hanseo University

²Dept of Chemical Engineering, Hanseo University

³YOO SUNG Co. Ltd., R&D Center

요약 최근 화석에너지 고갈과 환경규제 강화로 산·재생에너지 개발 및 보급이 시급해지고 있다. 여러 가지 신재생 에너지 중 폐기물을 이용하는 방법이 에너지원의 잠재적 가치를 비교하였을 때 가장 유망한 에너지원으로 인정되고 있으며, 그 중에서도 폐기물을 고행연료로 가공하는 고행연료가 현실적이고 가장 경제적인 방법으로 인정받고 있다. 그러나 산업폐기물의 종류별 연소 시 발생하는 유해가스(HCl, Dioxin 등)와 중금속 등이 문제점으로 지적되고 있다. PVC, alkali metal chloride, alkaline earth metal chloride 등은 Cl을 발생시키는 대표적 물질이며, Cl은 열회수 장치의 부식과 같은 문제를 유발한다. 본 연구에는 두지역의 산업단지에서 고행연료의 재료가 되는 산업폐기물에 미량 존재하는 중금속 성분을 분석하였으며, Cl과 S의 농도를 분석한 결과 B산업단지의 농도가 A산업단지의 농도보다 약간 높게 나타났다. 이를 바탕으로 산업폐기물의 발생원과 연료로서의 RDF의 성능을 개선하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract Recently, the development and spread of the new recyclable energy becomes urgent because of the depletion of fossil fuel and strengthening the environmental regulation. To recovery from the waste out of the many new recyclable energies has been proved as the most favorable when the potential value of energy source is compared. The RDF from the waste has been approved as the most economical method out of the other methods. However, the toxic gases (HCl, Dioxin etc) and heavy metals generated during the burning of the industrial wastes have been pointed out as problems. The PVC, alkali metal chloride, and alkaline earth metal chloride are major materials for emitting the chlorine and chlorine compounds have the problem such as the erosion on the heat collection device. This research has analyzed the heavy metal components containing in the industrial waste, and the concentration of Cl and S in the industrial waste generated in B industrial complex are slightly high than that of the A industrial complex. The results can be used to discuss the origin of inorganic components in industrial waste and utilized as a base data to improve the performance of the RDF as fuel.

Key Words : RDF, Industrial waste, Heavy metals, SEM, EDX

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

*교신저자 : 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

접수일 09년 09월 10일

수정일 09년 10월 01일

게재확정일 09년 10월 14일

1. 서론

최근 국제유가의 급격한 상승은 화석연료의 절대량을 해외로부터 수입하는 우리나라에 심각한 문제로 대두되고 있다. 또한 2013년 이후 기후변화협약 의무이행 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 있으며, 그 중에서도 폐기물 고형연료(RDF, Refuse Derived Fuel)화가 현실적이고 경제적인 방법으로 인정받고 있다.

고형연료란 폐기물로부터 얻어지는 연료를 의미하며 석유 석탄 등의 화석연료 고갈에 따른 에너지의 공급 불안, 지구환경문제, 자원의 효율적 이용 관점에서 귀중한 에너지 공급의 일익을 담당할 것으로 기대되고 있다[1]. 또한 고형연료화 한 폐기물은 수송성과 저장성이 뛰어나며 폐기물의 성상에 따라 차이는 있겠지만 고분자 산업 폐기물일 경우는 약 6,000 kcal/kg 이상의 발열량을 가지므로 대체에너지원으로 활용가치가 상당히 높아 잠재적인 에너지원으로 기술개발 및 연구가 앞으로도 많이 진행될 것이며 매우 중요한 대체에너지가 될 것으로 판단된다[2]. 하지만 국내 폐기물의 특성상 상대적으로 높은 수분함량은 발열량을 떨어뜨리며, 원료가 되는 산업폐기물의 종류에 따른 연소 시 발생하는 유해가스(HCl이나 Dioxin 같은 유해가스의 전구물질) 및 중금속 등의 문제를 발생시킨다[3,4]. PVC가 Cl을 발생시키는 대표물질이며, alkali metal chloride, alkaline earth metal chloride 형태의 물질도 대표물질 중에 하나이다.

본 연구에는 두개의 산업단지에서 발생하는 고형연료의 재료가 되는 폐기물의 중금속 함량을 분석한 후, 미량 중금속의 발생원 및 소각시 중금속이 미치는 영향을 조사하고자 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.

2. 실험

2.1 시료

고형연료의 재료가 되는 폐기물을 분석하기 위해 두개의 산업단지에서 폐기물을 샘플링하였다. A산업단지는 주요 에너지 잠재원인 가연성 폐기물을 중심으로 산업단지 내 각 업체의 발생량 순으로 폐기물 시료를 채취하였다. 폐기물은 10개 업체에서 총 14개 시료를 채취하였으며 종류는 폐지, 폐목재, 폐섬유, 고분자화합물로 합성고무수지, 합성수지를 포함한 기타 가연성폐기물이다. 시료의 현황은 표 1과 같다.

B산업단지 또한 폐기물의 발열량이 큰 가연성 폐기물을 중심으로 총 5개 업체에서 21개의 시료를 채취하였다. 각 시료마다 5회 분석하여 평균값을 사용하였고 시료의 현황은 표 2와 같다.

발생되는 산업단지 폐기물 중 7종류(비닐류, 비닐류(혼합), 폐플라스틱, 폐목재, 폐합성수지류, 슬러지, 폐유기용제)를 선별하여 본 고형연료화 실험에 사용하였다. 산업단지에서 발생하는 부존자원은 산업단지 내 공장 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 비닐류 2종, 파쇄가 필요한 폐목재, 폐플라스틱, 폐혼합수지류 3종, 파쇄가 불가능한 슬러지, 폐유기용제 2종을 선정하여 전체를 대표할 수 있도록 하였다.

비닐2종 중 하나는 10m × 10m 이상의 대형 크기이며, 나머지 하나는 생활환경에서 발생하는 비닐류(라면봉지, 과자봉지 등)이다. 플라스틱류는 20L 크기의 용기가 90% 이상을 차지하였으며, 폐목재는 직사각형 형태를 가

[표 1] A산업단지 내 폐기물 시료 특성

기업	시료명	분석폐기물	발생량 (톤/년)	기업	시료명	분석폐기물	발생량 (톤/년)
A	A-1	폐섬유 및 천	-	F	F-1	기타가연성 폐기물	314
	B-1	폐섬유 및 천	5,442		F-2	폐목재	768
B	B-2	폐목재	1,317	H	H-1	폐지	262
	B-3	폐합성고무수지	3,171	J	J-1	기타가연성 폐기물	990
D	D-1	폐지	945	L	L-1	폐목재	511
E	E-1	기타가연성 폐기물	1,2691		L-2	폐지	182
	E-2	폐목재	270	N	N-1	폐지	67

9개 업체, 14개 시료수거

[표 2] B산업단지 내 폐기물 시료 특성

기업	시료명	분석폐기물	업종	기업	시료명	분석폐기물	업종
O	O-1	폐합성수지	전기, 전자	Q	Q-2	폐합성수지	폐기물 업체
	O-2	폐합성수지			Q-3	폐합성수지	
	O-3	폐목			Q-4	폐합성수지	
P	P-1	폐합성수지	자동차 제조업		Q-5	폐합성수지	
	P-2	폐합성수지			Q-6	폐합성수지	
	P-3	폐합성수지			Q-7	폐목	
	P-4	폐목			R	R-1	
P-5	폐목	R-2	폐합성수지				
P-6	폐지	R-3	폐합성수지				
Q	Q-1	폐합성수지		S	S-1	폐목	선박 가구제조
			S-2		폐목		
비고	5개 업체, 21개 시료수거						

[표 3] A산업단지 고행연료 단일시료 및 혼합시료 조성비(%)

구분	비닐류	비닐류(EPR)	페 플라스틱	폐목재	폐합성수지	슬러지	폐 유기용제	시료명
단일 시료	1	100						Y-1
	2		100					Y-2
	3			100				Y-3
	4					100		Y-4
혼합 시료	5	75	10		5	10		Y-5
	6	70	10			20		Y-6
	7	70				30		Y-7
	8	75			24		1	Y-8
	9			30	20	50		Y-9
	10			50	15	30	5	Y-10
	11			15		80	5	Y-11

지고 있으며, 2m 이상의 크기를 가지는 것도 있었다. 폐합성수지는 비닐류, 종이류, 플라스틱류, 폐목재 등의 다양한 성상의 폐기물이 혼합되어 있었으며, 슬러지와 폐유기용제는 수분 함유량이 80% 이상을 나타내고 있다. 성형은 폐기물을 우선 파쇄 및 분쇄 후 실시하였으며, 압축식 성형기로 성형을 하였다. 폐기물의 혼합은 파쇄 후에 저울(최대 300kg)에 달아 표 3의 비율로 혼합하였으며, 유기용제의 혼합은 성형과정에서 성형기 입구에 직접 부어넣어 혼합하였고 혼합시료의 조성 비율은 폐합성수지류가 접착제 역할을 어느 정도 하는지 알아보기 위해 다른 비율로 혼합하였으며 표 3 및 표 4에 자세히 그 혼합비율을 나타내었다.

[표 4] B 산업단지 고행연료 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 SEM-EDS

SEM (Scanning Electron Microscope, JSM-5600, Japan)을 사용하여 분석하였으며, 전자선이 시료면 위를 scanning할 때 발생하는 여러 가지 신호 중 그 발생확률이 가장 많은 2차 전자(secondary electron) 또는 back scattered electron을 검출하여 대상 시료를 관찰한다.

EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometer, XS-160, Japan)는 SEM에 장착되어 고체, 박막 또는 particle들의 화학적 성분을 분석하는 기술이다. 이것으로 분석 가능한 원소 성분은 Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sn, Pb 등이며 본 연구에서도 이들 원소 중 폐기물에 함유한 원소들에 대해 분석하였다.[8]

2.3 Triangle Plot

Triangle plot은 삼각형의 그래프로 그림 1과 같이 각 끝의 모서리와 모서리 사이의 면에 표 5에 제시된 원소를 대입하여 시료의 원소분포와 형태를 알 수 있다. 각 모서리 지역 1, 3, 5로 갈수록 Na+Al+Si+K, S+Cl, Mg+Ca 성

[표 5] RDF에 함유되어 있는 무기물질의 분류(%)[5]

	Area	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe
Natural sand										
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

분이 많은 것을 의미하며 반대쪽 모서리로 갈수록 감소하며, 임의의 한점에서의 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 그래프를 작성하였다.

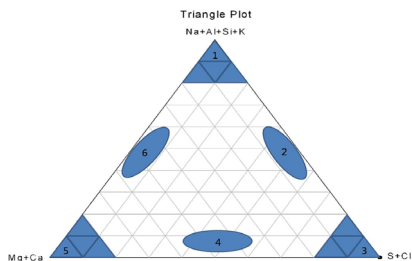
6지역은 calcium silicates의 물질로 calcium silicate(포틀랜드 시멘트의 주성분)를 의미한다[5,6]. 이 먼적들은 일반적으로 산업폐기물에서 관찰되는 무기성분들의 대략적인 조성의 분포 한계를 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폐기물 분석

본 연구에서 분석한 모든 폐기물은 거의 C와 O로 구성되어 있었으며, C와 O의 비율이 모든 폐기물의 60% ~ 95% 이상을 차지한다. 하지만 폐기물을 분석하여 나누기 위해서는 C와 O 그리고 Na, Al, Si, K, S, Cl, Mg, Ca 외 다른 물질은 제외하였고, 8가지 원소를 100%로 환산하여 그래프로 나타내었다.

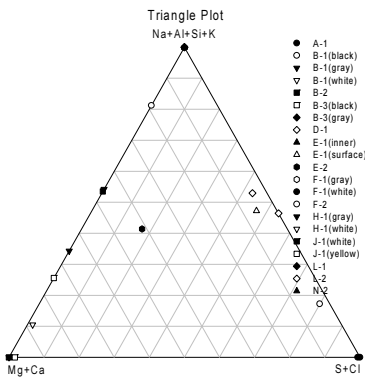
그림 2는 A산업단지에서 채취한 폐기물의 증금속 및 무기물을 분석한 것으로서, 표 1의 시료를 분석하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림 2에서 보면 B-1(white)와 같이 표 5에는 나와 있지 않은 것들이 있는데, 이것은 시료 중에 다른 색상이나 겉과 안쪽의 특성이 다른 시료를 구분하여 놓은 것으로 재질은 표 1과 같다. 총 21가지의 분석 중에 A-1, B-1(black), F-1(white)의 시료에서 각각 99.36%, 79.91%, 100%의 Cl과S가 검출되어 PVC형태의 폐기물 성상이 나타난다. 그리고 B-1(white), B-2, B-3(black), H-1(white), J-1(yellow)는 100%, 100%, 74.42%, 88%, 98.3%의 높은 Mg, Ca 함량을 나타내어 Lime형태의 폐기물 성상이 나타났다. B-3(gray), E-1(inner), F-1(gray), F-2, L-1, N-2는 100%, 100%, 100%, 81.19%, 100%, 100%로 나와 Na, Al, Si, K가 많이



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

표 5와 그림 1의 1지역은 Alumina-silicates를 의미하며 그림 1의 나타내어진 것과 같이 분석 후 그 구성형태가 모래와 흡사하다는 것을 나타내고 있으며, 2지역은 Sodium and Potassium chloride의 물질로 alkali metal chlorides, 3지역은 chlorine-rich phases 물질로 PVC, 4지역은 calcium sulfides 물질로 gypsum and calcium chloride, 5지역은 calcium and magnesium oxides의 물질로 lime(내화재료·도가니·마그네시아시멘트·축매·흡착제),

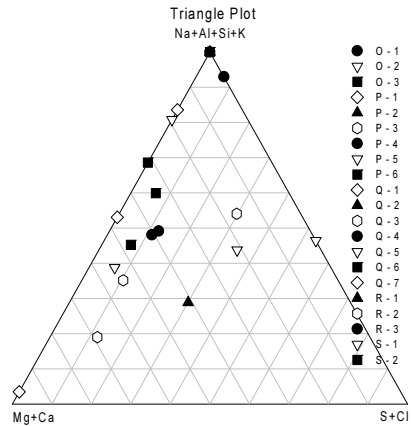
검출된 것으로 보이지만, 거의 모든 영역에서 Si의 성분이 약 70%정도로 높게 나타났다. Na, Al, Si, K의 함량이 상당히 높은 경우가 많은데 분석을 하거나 폐기물을 sampling 할 때 헹잡물을 거르지 않고 분석한 것이 주된 원인으로 생각된다. B-1(gray), B-3(gray), E-1(inner), E-1(surface), L-1과 같은 시료에서는 많지는 않았지만 약간의 중금속이 검출되었다. 하지만 검출 성분 중에 Pb와 같은 독성 중금속 물질도 2~3% 검출되었다. 그리고 중금속만큼 중요시 생각하는 것 중에 하나가 Cl과 S이다. 부식이 강한 물질들로 연소 시 열회수 장치에 부식을 일으킬 수 있어 폐기물의 고형연료화를 지연시키는 원인물질이다. 하지만 알맞은 후처리 장치를 부착하여 처리한다면 문제되지 않을 것으로 예상된다.



[그림 2] A산업단지의 폐기물 특성

그림 3은 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 헹잡물에 의한 모래 형태의 폐기물 성상이라고 생각된다. A산업단지는 분포가 골고루 퍼져 있어 어떤 성분의 폐기물성상 이라는 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. B산업단지는 Cl이나 S의 함유량이 A산업단지처럼 많지 않았으며, 유해 중금속의 함량

또한 거의 검출되지 않았다.

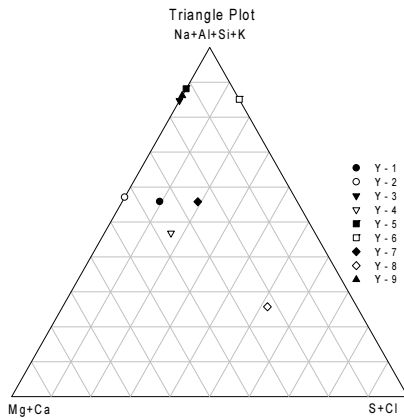


[그림 3] B산업단지의 폐기물 특성

A산업단지는 시료가 공정에서 사용되는 기계를 청소하는 폐 천이나 폐지가 시료가 되어 Cl이나 S, 중금속물질이 많은 반면, B산업단지는 물건을 포장하는 폐목이나 폐합성수지, 박스와 같은 시료가 많아서 Cl, S, 중금속 성분이 적은 것으로 사료된다.

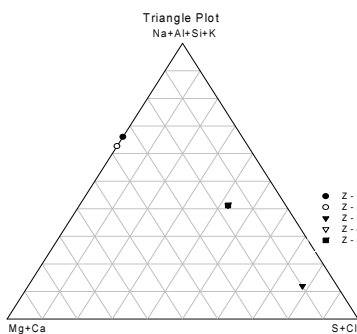
3.2 고형연료 분석

고형연료 역시 대부분 주요 원소는 C와 O로 이루어져 있으며, C와 O의 비율이 모든 시료의 60% ~ 100%를 차지한다. 그림 4의 A고형연료 9개의 분석결과 Y-3, Y-5, Y-6, Y-9의 시료에서 85%, 88%, 85%, 86%로 Na, Al, Si, K의 함량이 높게 나타났으며 이 고형연료 제작 시 폐기물과 헹잡물이 혼합되어 있고 다른 분류체제 없이 바로 혼합 제작하여 과도한 수치가 나왔으며, Y-1(Cl+S) : 9.48%, Na+Al+Si+K : 55.83%, Mg+Ca : 34.69%), Y-2(0, 57.05, 42.95), Y-4(16.85, 46.77, 36.38), Y-7(19.1, 55.78, 25.12), Y-8(51.71, 25.71, 22.58)의 함량을 보여주며 Calcium chloride형태의 폐기물 성상을 나타내고 있다. Y-1, Y-2, Y-3, Y-8은 Metallic iron or iron oxide형태의 폐기물 성상도 포함하는데 Fe는 고형연료 제작 시 압축 성형하는 과정에서 성형기에 의해 Fe가 포함되었을 것으로 예상된다. Y-6에서는 Br이 검출되었으며 Br은 유해물질로 악취와 사람 피부에 닿으면 염증을 유발하는 물질이며 증기는 점막을 자극하고 공기 중에 100만분의1 이상 존재하게 되면 기관지와 폐에 악영향을 주는 물질이다. 약 0.9% 정도의 미량이 검출되었고, 후처리 설비를 통하여 나올 시 인체나 환경에 미치는 영향은 없을 것으로 예상된다.



[그림 4] A고형연료의 폐기물 특성

그림 5는 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%, 11.03%로 Sodium and Potassium chloride 형태의 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 검출된 것으로 보이며, Zn의 증기열은 피로, 심한 갈증, 다리의 통증, 오한, 머리의 충혈, 목과 호흡 기관의 건조함과 따끔거림, 발열, 그리고 기침 등의 증상이 나타나는 일반적인 질병 증세를 일으킨다[7].



[그림 5] B고형연료의 폐기물 특성

4. 결론

폐기물 분석과 고형연료의 분석결과 폐기물을 고형연료로 성형하여도 원소의 변화는 없었으며, 산업폐기물의 특성상 미량이지만 모든 시료에서 중금속 성분이 검출되었다. 이것은 산업단지에서 사용되는 중금속 물질 또는 기계, 부품을 세척하는 과정이나 공단 내에서 발생하는 미량의 물질들이 묻어서 검출된 것으로 생각된다.

A산업단지 폐기물시료의 경우 중금속물지와 Cl, S의 함량이 높은 편이었으며, B산업단지 폐기물시료, A고형연료, B고형연료 모두 미량이지만 Cl이 검출되었다. 적은 양의 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.

B고형연료를 제외한 모든 시료에서 협잡물에 의한 Si 성분이 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.

현재 분석한 데이터만으로 정확한 산업폐기물이 분석 값을 정의 할 수는 없지만 기초가 되는 자료가 될 수 있다고 생각한다. 또한 좀 더 많은 산업단지와 샘플의 양을 증가시켜 분석을 한다면 현재 데이터보다 더욱 나은 D/B를 구축 할 수 있을 것이다.

앞으로 연소테스트를 통하여 검출되는 중금속성분과 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.

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), 도시 쓰레기와 하수슬러지의 혼합소각기술, Journal of Korea Solid Wastes Engineering Society, Vol. 18, No. 3, 3948, 2001.
- [3] 손병현, 이주호, 정문현, 김민철, 고주현, 박홍석, 이강

우, “산업단지에서 배출되는 폐 유기성 슬러지의 열적 특성-제지업 및 음식료업을 중심으로-”, 한국산학기술학회 논문지, 제9권, 제5호, pp.1359-1367, 10월, 2008.

- [4] 이강우, 김민철, 이재정, 이만식, 김지원, 박홍석, 손병현, “울산지역 산업단지에서 배출되는 유기성 슬러지의 물리·화학적 특성”, 한국산학기술학회 논문지, 제9권, 제6호, pp.779-786, 12월 2008.
- [5] H.J. Ollila, A. Moilanen, M.S. Tiainen, R.S. Laitinen. "SEM-EDS characterization of inorganic material in refuse-derived fuels.", FUEL 85, 2586-2592. 2006.
- [6] Vera Susanne Rotter, Thomas Kost, Joerg Winkler, Bernd Bilitewski. "Material flow analysis of RDF-production processes.", Waste Management 24, 1005-1021. 2004.
- [7] 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, 17, 87-94. 2003.
- [8] 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, 12, 871-877. 2002.

이 주 호(Ju-Ho Lee)

[준회원]



- 2008년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 석사과정

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리

유 정 근(Jeong-Gunn Yoo)

[정회원]



- 1987년 2월 : 고려대학교 화학공학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 고려대학교 화학공학과 (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 화학공학과 정교수

<관심분야>

자원회수, 무기공업화학

정 문 현(Moon-Heon Jeong)

[준회원]



- 2008년 2월 : 한서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 석사과정

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리

이 강 우(Gang-Woo Lee)

[정회원]



- 1995년 8월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : (주) 유성중앙연구소 소장

<관심분야>

산업폐기물처리, 소각로 해석 및 설계, 유해가스처리

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수, 대기화학