

울산지역 산업단지에서 배출되는 유기성슬러지의 물리·화학적 특성

이강우¹, 김민철¹, 이재정¹, 이만식², 김지원³, 박흥석³, 손병현^{4*}

Physicochemical Properties of Organic Sludge Discharged from an Industrial Complex in Ulsan

Gang-Woo Lee¹, Min-Choul Kim¹, Jae-Jeong Lee¹, Man-Sig Lee², Ji-Won Kim³,
Hung-Suck Park³ and Byung-Hyun Shon^{4*}

요약 본 연구는 울산지역의 산업단지에서 발생하는 유기성 슬러지에 대하여 삼성분, 원소조성, 발열량 및 열중량 분석을 실시하였다. 삼성분 분석 결과 평균값은 수분함량이 72.9%, 가연분이 18.5%, 불연분이 8.6%로 나타났으며, 원소분석 결과 평균값은 C 33.9, O 26.4, H 4.4, N 4.4, S 0.6%로 나타났다. 저위발열량이 1,500 ~ 2,000 kcal/kg 사이인 업체가 6개 업체, 2,000 kcal/kg 이상의 발열량을 가지는 4개 업체는 직접 연소 처리하여 에너지화하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 산업분류 코드 업종별 시료에 대한 TGA 분석 결과, 2개 업종에서 배출되는 유기성 슬러지의 경우 800℃ 이상에서 연소를 해야 할 것으로 판단되며, 3개 업종에서 발생하는 슬러지의 경우 600℃ 정도에서 저온 연소가 가능할 것으로 판단된다.

Abstract In this study, we analyzed the physical and chemical properties such as proximate analysis, ultimate analysis, heating values, and thermogravimetric analysis for the organic sludges discharged from an industrial complex in Ulsan. The average water, combustible, and ash content of organic sludges were 72.9, 18.5, and 8.6%, respectively. And according to the ultimate analysis of organic sludges, the C, O, H, N, and S compositions were 33.9, 26.4, 4.4, 4.4, and 0.6%, respectively. According to the results of investigating the lower heating values, 6 sludges were on the range of 1,500 ~ 2,000 kcal/kg and 4 sludges were on the range of over 2,000 kcal/kg. Therefore, these 10 sludges could be directly applied to industries which try to use the energy by direct incineration.

Key Words : Organic sludge, Proximate analysis, Ultimate analysis, Lower heating value, TGA

1. 서론

한국 환경부의 “2006 지정 폐기물 발생 및 처리현황”(2007)에 따르면, 산업 활동 증가 및 이에 따른 경제구조 확대에 따라 지정폐기물 발생량 중 오폐수의 발생량이 매년 증가하는 경향을 보이고 있으며, 유기성폐기물은 정부의 여러가지 노력에도 불구하고 발생량이 줄어들지 않고 있다[1]. 더욱이 국·내외적으로 이들 물질에 대한 규제가 강화되고 있으며, 1996년 런던의정서에 의거

2012년부터 유기성폐기물(축산분뇨, 음식물 쓰레기, 하수 슬러지 등)의 해양투기가 금지됨에 따라 정부와 지방자치단체가 바이오플랜트 건설에 많은 노력을 기울이고 있다[2,3].

정부는 신재생에너지 확대 정책에 따라 유기성폐기물을 이용한 자원화 기술개발 및 시설을 크게 늘려나갈 계획이지만[4,5], 지금까지 대부분의 자원화시설이 유기성 폐기물의 물리·화학적 특성 및 지역적 특성이 반영되지 않고 있어 여러 가지 부분에서 개선해야 할 여지가 남아

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

¹(주) 유성 중앙연구소

²한국생산기술연구원 부산연구센터

³울산대학교 청정자원순환연구센터

⁴한서대학교 환경공학과

*교신저자: 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

접수일 08년 09월 02일

수정일 (1차 08년 10월 29일, 2차 08년 12월 03일)

게재확정일 08년 12월 16일

있다. 정부가 10여 년간 유기성폐기물 자원화 정책을 추진하여 현재 정착단계에 이르렀으나 자원화기술에 관련된 법·제도의 개선, 시설설치비용 및 운영비용 합리화, 관계자의 전문성 재고, 자원화 기술의 다양화에 의한 연계성의 확립 등을 통하여 더욱 자원화가 촉진되는 효율적인 관리체계의 정비가 필요하다. 그러므로 산업단지 내에서 발생하는 슬러지 중 생분해도가 큰 유기성폐기물을 효과적으로 처리할 수 있는 공정을 적용 그 에너지를 회수하여 산업단지 내 에너지 수요기업에 공급하는 네트워크를 구축하는 것은 매우 의미 있는 일이다. 그러나 산업단지 내에서 발생하는 유기성폐기물은 재활용이 가능한 자원으로서 가치가 대단히 높음에도 불구하고 각 업체별로 개별 또는 소규모 단위로 처리함으로써 처리 비용 및 방법에 있어 비효율적으로 처리되고 있을 뿐만 아니라 그동안 경제적인 이유로 많은 양이 해양투기로 처리되어 이에 대한 기술이나 연구 실적이 많지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 울산광역시 소재 2개 산업단지의 유기성슬러지 배출량 및 이의 기초적인 물리·화학적 특성을 분석하여 슬러지의 최적 자원화 방안을 검토하고 또한 유기성슬러지의 자원화 공정과 수요처를 고려한 경제적인 네트워크를 구축하여 산업단지의 자원순환 및 에너지 이용으로 친환경적 생태산업단지 구축에 기여하고자 한다. 이와 더불어 장래 상용화급 유기성슬러지 처리 시스템 개발에 필요한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 연구내용 및 범위

울산광역시 소재 2개의 국가산업단지에 입주해 있는 업체는 2006년 기준 786개이며, 이 중에서 각종 유기성 슬러지 및 폐수처리슬러지를 배출하는 업체는 77개 정도이다. 각 업체별로 유기성슬러지를 매립, 소각, 재활용, 해양배출 등의 방법으로 처리하고 있으나 대부분의 업체에서는 경제적인 이유로 해양배출을 통해 유기성슬러지를 처리하고 있다. 본 연구에서는 연구의 목적상 해양배출을 통해 처리하고 있는 업체 중 유기성슬러지 발생량이 연간 500톤 이상인 20개 업체를 대상으로 유기성슬러지 배출량 및 적절한 처리방법 선정을 위한 기초자료를 조사하였다.

2.2 유기성슬러지의 물리·화학적 특성 분석

각종 사업장에서 발생하는 탈수슬러지는 발생원, 생산제품, 폐수처리 공정에 따라 큰 차이가 있다. 따라서 삼성분 분석, 원소 분석, 발열량 분석, 열중량 분석 등과 같은

기본적인 물리적, 화학적 특성에 대하여 분석을 실시한다.

2.2.1 삼성분 및 원소 분석

삼성분 분석은 유기성 폐기물 처리 시 처리방법 선정에 있어 가장 기본적인 선정기준이며, 발열량 산정에 있어 기초가 되는 자료이다. 실험방법은 폐기물공정시험법에 따라 분석하였다[6].

원소분석의 경우 Elemental Analysen System사의 Vario EL 모델(이탈리아)을 이용하여 C, H, O, N, S 항목을 분석하였으며 분석 결과는 상자그림(box plots)을 이용하여 통계적으로 해석하였다. 상자그림은 측정된 자료를 토대로 중심과 변동에 대한 척도를 병합하여 만들며 주로 분포의 대칭성, 분포의 양, 꼬리 부분의 집중도, 대 부분의 자료들과 동떨어진 값을 갖는 자료인 이상점들의 유무 등을 해석할 때 많이 사용된다. 상자그림에서 상자의 하한(lower limit)과 상한(upper limit)은 각 자료의 25번째와 75번째 백분위값(percentile)을 의미하며, 상자와 연결하는 선을 구레나룻(whisper)이라고 하고 위구레나룻과 아래구레나룻은 각각 최대값(90번째 백분위값)과 최소값(10번째 백분위값)을 의미한다. 또한 상자 안의 굵은 점선은 평균(mean), 실선은 중앙값(median)이고 이 중앙값과 구레나룻의 거리가 짧을수록 자료점들이 집중되어 있는 것을 의미하며, 상자그림의 위와 아래에 원형 검은 점은 각각 자료의 95번째 백분위값과 5번째 백분위값을 나타낸 것이다.

2.2.3 발열량

시료를 넣은 bomb을 발열량계 본체에 넣고 산소를 30 기압 정도 충전한 후 점화시켜 시료가 완전연소 되면서 발생시킨 열원에 의해 변화하는 온도변화를 측정해 발열량을 분석한다. 본 실험에서 사용된 탈수된 유기성슬러지는 대부분 수분함량이 높아(80~85 wt.%) 슬러지를 건조한 후 발열량을 분석하였다. 발열량은 한국산업규격(KSM2057)에 준해 발열량계(Parr 6200, Parr Instrument Company, USA)를 사용하여 분석하였다. 또한 이와 병행하여 원소분석에 의한 방법으로 전체 수소 중 유효수소를 고려한 Dulong식, 산소가 CO₂로 존재하는 것으로 가정하는 Scheurer-Kestner식 및 산소의 1/2이 H₂O 그리고 1/2이 CO로 존재하는 것으로 가정하는 Steuer식을 가지고 저위발열량을 계산하였다.

2.2.4 TGA 분석

유기성슬러지의 완전연소 온도를 판단하기 위하여 온도변화에 따른 중량변화를 확인하는 열중량분석(TGA,

Thermo Gravimetric Analysis)을 수행하였다. 시료 약 10 mg을 주입하고 승온속도 10 °C/min로 1,000 °C까지 승온하면서 온도변화에 따른 열중량분석을 수행하였다. 분석은 열분석기 (TA5000, TA instrument Company, USA)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유기성 슬러지 배출 및 처리현황

울산광역시 소재 2개 산업단지에서 발생하는 총 슬러지 발생량은 2006년 기준 1,631톤/일이고 그 중 유기성슬러지 발생량은 1,123톤/일로 약 70% 정도이다[1,7]. 이 유기성슬러지 발생형태에 따른 구성은 폐수슬러지 993톤/일(89%), 하수슬러지 72톤/일(6%), 공정슬러지 57톤/일(5%), 정수슬러지가 0.8톤/일(1% 미만)이다. 처리 방법별로 살펴보면, Y폐수처리장으로 유입계획이 되어 있는 337톤/일을 제외한 나머지 786톤/일은 개별 기업이 처리하고 있으며 그 처리방법은 해양투기 722톤/일(92%), 매립 30톤/일(4%), 재활용 21톤/일(3%), 소각 10톤/일(1%)과 같다.

[표 1] 산업분류코드 업종별 유기성슬러지 발생현황

산업분류코드 업종	업체 기호	발생량 (톤/일)	비율
펄프, 종이 및 종이제품 제조업 D(21)	A	340.5	54%
	C		
화합물 및 화학제품 제조업 D(24)	B	153.1	24%
	G		
	H		
	J		
	K		
	O		
	P		
	R		
코크스, 석유 정제품 및 핵연료 제조업 D(23)	D	93.8	15%
	E, F		
	M		
	N		
	Q, S		
자동차 및 트레일러 제조업 D(34)	L	29.4	5%
음식료품 제조업 D(15)	I	8.6	1%
	T		
총 발생량		625.4	100%

2008년 2월부터 슬러지 해양투기 중금속함량 분석법이 용출분석법에서 함량분석법으로 변경되고 규제물질도 14개 항목에서 PAHs와 PCBs 등이 추가된 25개 항목으로 확대되는 등 해양투기 기준을 대폭 강화하고 있어[3] 해양배출 유기성슬러지 중 일부가 다른 처리방법으로 바뀌어 질 것으로 예상된다. 또한 런던의정서에 의거 2012년부터 유기성폐기물 해양투기 금지에 따라 현재 해양배출로 처리되고 있는 유기성슬러지에 대한 대책은 계속적으로 필요하며 2005년 쿼터제 도입 이후 해양배출량도 연간 10%씩 감소하고 있다[8]

울산광역시 소재 2개의 국가산업단지에 입주 업체 중 유기성슬러지 발생량이 연간 500톤 이상인 20개 업체를 대상으로 조사한 슬러지 발생량은 표 1과 같다. 유기성슬러지 발생량을 산업분류에 따른 업종별로 구분하면 2개의 “펄프 및 종이 및 종이제품 제조업”에서 340.5톤/일로서 54%이며 다음으로 8개의 “화합물 및 화학제품 제조업”에서 24%, 6개의 “코크스, 석유 정제품 및 핵연료 제조업”에서 15%, 1개의 “자동차 및 트레일러 제조업”에서 5%, 2개의 “음식료품 제조업”에서 1%로 나타났다.

3.2 삼성분 분석

겨울철(2008. 1)과 봄철(2008. 4)에 폐수처리장에서 채취한 유기성슬러지의 삼성분 분석 결과는 표 2와 같다. 봄철에 채취한 시료의 경우 평균 수분함량이 65.71%로 겨울철에 채취한 시료의 분석치보다 약간 감소하였으며 평균 가연분은 24.98%로 겨울철에 채취한 시료의 분석치보다 3.71% 증가하였고 평균 불연분은 9.31%로 겨울철에 채취한 시료의 분석치보다 3.37% 감소한 결과를 보였다. 이는 겨울철의 경우 폐수처리 공정의 활성도가 떨어져 유기성슬러지의 탈수능이 낮아 수분함량이 증가한 것으로 보이며, 봄철의 경우 폭기조의 미생물 활성이 높고 탈수능이 좋아 상대적으로 가연분 함량이 높게 나타난 것으로 사료된다. 수분함량, 가연분, 불연분값이 업체별로 큰 차이를 보이는 것은 생산 공정, 폐수처리 공정에 따라 삼성분 성상에 차이가 있고, 슬러지 내에 유기물 함량이 높거나 유분이 함유된 폐수슬러지의 경우 탈수효율이 떨어지기 때문으로 판단된다. 또한 폐수처리과정 중 1차침전조에 응집제를 투입하는 공정이 있을 경우 탈수효율이 증가하고 불연분의 함량이 높아지는 경향이 있다.

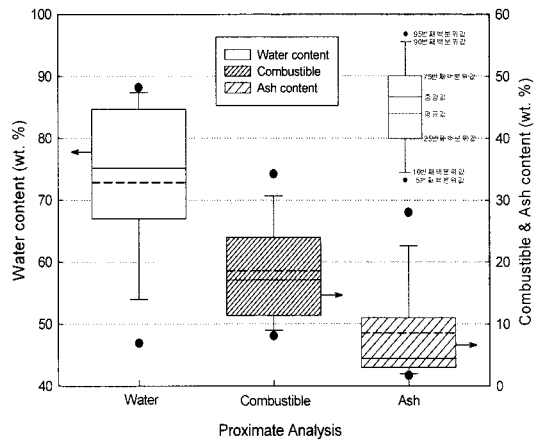
산업분류에 따른 업종별 특징을 살펴보면, 가연분의 경우 “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”이 약 15% 정도로 매우 낮은 값을 보였고 나머지 4개 업종은 약 20~30% 정도로 유사한 값을 보였다. 수분함량의 경우 “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”과 “음식료품 제조업”에서 낮은 값을 보였고 나머지 3개 업종은 비슷한 수치를 보였다. 불

연분의 경우 “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”과 “음식료품 제조업”에서 비교적 높은 값을 보였고 나머지 3개 업종은 비슷한 수치를 보였다. 삼성분 분석 결과 업종별 특징을 기준으로 한 유기성 슬러지 처분방법은 “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”과 “음식료품 제조업”에서 발생하는 슬러지는 다른 업종에서 발생하는 슬러지와 분리해서 처리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

그림 1은 표 2의 2차에 걸친 분석결과를 업종에 관계없이 종합하여 상자그림으로 나타낸 것이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 2차에 걸친 모든 분석 자료를 종합적으로 검토한 결과 평균(표준편차) 값은 수분함량 72.9(13.1)%, 가연분 18.5(9.0)%, 불연분이 8.6(9.1)로 나타났으며 표준편차가 비교적 커 삼성분의 모든 자료점들이 넓은 범위에 걸쳐 분포하는 경향을 볼 수 있었다. 특히 불연분의 표준편차는 평균값보다 큰 값을 보여 더 많은 자료의 축적이 필요할 것으로 판단된다.

[표 2] 삼성분 분석결과

업체 기호	가연분, VS(%)		수분함량(%)		불연분, FS(%)	
	1차	2차	1차	2차	1차	2차
A	13	9	76	75	11	16
C	17	22	54	61	29	17
소계	15.00	15.50	65.00	68.00	20.00	16.50
B	9	20	77	70	14	10
G	23	27	73	68	4	5
H	26	19	69	77	5	4
J	14	13	83	85	3	2
K	21	33	78	65	1	2
O	13	25	83	71	4	4
P	12	20	86	68	2	12
R	26	19	49	54	25	27
소계	18.00	22.00	74.75	69.75	7.25	8.25
D	15	20	83	78	2	2
E	12	20	79	70	9	10
F	15	24	83	74	2	2
M	19	47	77	51	4	2
N	25	-	71	-	4	-
Q	14	31	84	66	2	3
S	25	-	69	-	6	-
소계	17.86	28.4	78.00	67.8	4.14	3.8
L	34	26	61	70	5	4
소계	34	26	61	70	5	4
I	30	20	64	71	6	9
T	13	46	39	35	48	19
소계	21.50	33.00	51.50	53.00	27.00	14.00
전체 평균	21.27	24.98	66.05	65.71	12.68	9.31



[그림 1] 20개 업체의 삼성분 분석에 대한 상자 그림

중양값은 수분함량 75.1%, 가연분 17.0%, 불연분 4.5%로 나타났다. 자료의 분포구간을 간접적으로 나타내는 25~75번째 백분위값 사이의 구간은 수분함량 67.0~84.8%, 가연분 11.3~24.0%, 불연분 3.0~11.0%로서 이 구간이 20개 업체를 대표할 수 있는 삼성분에 대한 분포구간으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 원소분석

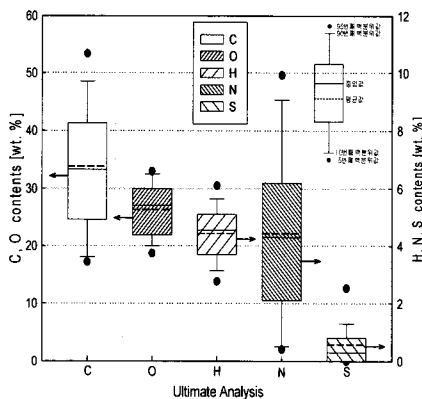
유기성슬러지의 원소분석 결과는 표 3과 같다. 분석된 업체의 평균 원소조성은 1차와 2차 각각에 대하여 C 34.0%와 33.5%, H 4.6%와 4.0%, O 26.2%와 27.2%, N 4.8%와 3.3%, 그리고 S 0.9%와 0.1%로 나타났다. 산업분류에 따른 업종별 특징을 살펴보면, C의 경우 “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”이 20.8~22.7%로 가장 낮은 수치를 보였으며 “음식료품 제조업”이 39.7~40.1%로 가장 높은 값을 보였고 나머지 3개 업종은 비슷한 수준으로 나타났다. 삼성분 분석 결과와 마찬가지로 원소분석 결과에서도 “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”과 “음식료품 제조업”에서 발생하는 슬러지는 타 업종에서 발생하는 슬러지와 분리해서 처리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

그림 2는 표 3의 결과를 업종에 관계없이 종합하여 상자그림으로 나타낸 것이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 평균(표준편차)값은 C 33.9(11.2), O 26.4(4.8), H 4.4(1.0), N 4.4(2.8), 그리고 S 0.6(0.8)%로 나타났으며 탄소와 질소 성분의 표준편차가 비교적 큰 값을 보여 자료점들이 넓게 분포하는 경향을 보였다. 특히 S성분의 표준편차는 평균값보다 큰 값을 보여 많은 자료의 축적이 필요할 것으로 판단되며 “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”의 경우 C 함량이 다른 업종에 비해 현저하게 낮은 결과를 보였다.

[표 3] 원소분석결과

업체 기호	산업분류코드 업종	Unit : wt.%									
		C		H		O		N		S	
		1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차
A	펄프, 종이 및 종이제품 제조업	18.9	17.7	4.8	2	34.2	32.1	0.4	0.4	0.9	0
C		22.7	27.7	3.7	3.2	31.6	32.9	0.5	1.2	0.3	0
평균		20.8	22.7	4.3	2.6	32.9	32.5	0.5	0.8	0.6	0.0
B	화합물 및 화학제품 제조업	17.1	22.7	3.7	3.1	27.6	28.7	1.7	3.4	1	0
G		37.2	39.1	4.9	4	22.2	20.4	10	9.8	0.6	0
H		51.8	60.5	5.5	3	19.6	15.8	4.4	4.2	0.3	0
J		28.4	29.8	4.5	4.2	27.1	26.6	4.8	4.2	0.6	0
K		44.9	30.4	5.1	4.6	33	28.9	6.8	5.2	0.5	0
O		29	39.2	4.9	6.1	25.8	32.7	5.5	6.5	1.3	0
P		43.8	16.8	4.7	4.3	23.9	20.4	10.2	0.9	0.8	0
R		20.8	17.4	4.3	2.6	23	21.3	2.5	2.8	2.6	3.9
평균		34.1	32.0	4.7	4.0	25.3	24.4	5.7	4.6	1.0	0.5
D	코크스, 석유 정제품 및 핵연료 제조업	44.1	40.2	4.1	6.1	30.6	31.2	5.8	6.2	0.7	0
E		24.6	22.8	5.3	3.7	21.4	19.9	3.7	3.7	0.9	0
F		41.2	42.4	4.8	6.2	28.1	29.4	6.5	6.8	1.3	0
M		39.2	54.4	4.9	3.7	29.8	31.6	5.9	0.4	0.4	0
N		35.1	-	5	-	26.3	-	5.4	-	0.4	-
Q		41.3	38.7	5.1	5.7	26.7	30	9.7	7.6	0.8	0
S		26.5	-	3.4	-	21.9	-	2.1	-	2.4	-
평균		36.0	39.7	4.7	5.1	26.4	28.4	5.6	4.9	1.0	0.0
L	자동차 및 트레일러 제조업	32.5	29.1	5.3	4.9	26.5	27.6	4.5	4.2	0.7	0
평균		32.5	29.1	5.3	4.9	26.5	27.6	4.5	4.2	0.7	0
I	음식료품 제조업	30.2	34.1	4.3	5.1	27.3	27.1	4.1	5.3	1.2	0
T		50	45.2	4.3	3.4	18.1	20.3	0.5	0.7	0.2	0
평균		40.1	39.7	4.3	4.3	22.7	23.7	2.3	3.0	0.7	0.0
총 평균		34.0	33.5	4.6	4.0	26.2	27.2	4.8	3.3	0.9	0.1

중앙값은 C 33.2, O 27.0, H 4.6, N 4.3, S 0.3%로 나타났다. 원소분석 결과, 자료의 분포구간을 간접적으로 나타내는 25~75번째 백분위값 사이의 구간은 C 24.5~41.2, O 22.0~30.0, H 3.7~5.1, N 2.1~6.2, S 0.0~0.8%로서 이 구간이 20개 업체의 원소조성에 대한 평균 분포구간으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 2] 20개 업체의 원소분석에 대한 상자 그림

3.4 발열량 분석

표 4에서 볼 수 있듯이, 발열량 계산식 중에서 가장 낮은 값을 나타내는 Dulong식을 이용하여 계산한 저위발열량이 1,500~2,000 kcal/kg 사이인 업체는 6개(P, D, G, F, M, N)이었고, 2,000 kcal/kg을 넘는 업체는 4개(H, T, Q, K)로 나타났다. 이중 저위발열량이 1,500~2,000 kcal/kg 사이인 유기성슬러지의 경우 수분을 40%까지 탈수하거나 건조한 후 폐기물 처리소각로에 혼소처리에 사용이 가능할 것으로 판단되었고, 저위발열량이 2,000 kcal/kg 이상인 4개 업체는 슬러지는 직접 연소 처리하여 에너지 화학하는 것이 가능할 것으로 판단되지만 자체 이용하거나 에너지화하기 위해서는 수분건조나 탈수시스템의 확립이 선행되어야 할 것으로 사료된다[9,10,11]. “펄프, 종이 및 종이제품 제조업”에 속하는 A와 C사의 경우 C 함량이 18.86%와 22.66%로 평균 43.83%에 비해 낮게 나타나 발열량이 낮게 분석된 것으로 판단되었으며, 시료 각각의 불연분은 13.98%와 28.65%로 시료 전체 평균값인 8.02%에 비해 5.96~20.63% 높은 값을 보여 소각처리 후 회분의 처리에 대안을 생각해야만 할 것으로 판단된다.

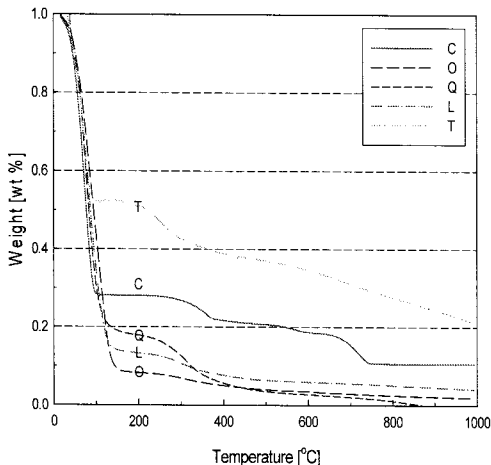
[표 4] 40% 수분 슬러지의 저위발열량

업체 기호	Dulong ¹⁾	Scheurer & Kestner ¹⁾	Steuer ¹⁾	실측값 ²⁾
B	483	861	676	1,292
A	419	803	615	1,304
H	2,547	2,827	2,695	4,593
T	2,093	2,328	2,216	4,250
P	1,753	2,233	1,998	3,988
Q	2,182	2,618	2,408	4,305
K	2,061	2,569	2,321	4,295
C	326	610	469	1,444
E	1,245	1,550	1,406	2,631
D	1,919	2,391	2,160	4,452
J	1,278	1,698	1,493	2,875
G	1,861	2,196	2,036	4,097
L	1,468	1,838	1,660	3,602
S	1,146	1,477	1,317	2,544
F	1,534	1,883	1,714	4,561
M	1,565	1,966	1,771	3,662
O	1,462	1,869	1,673	2,772
N	1,657	2,048	1,859	3,354
R	818	1,118	975	2,082
I	1,354	1,779	1,572	2,868
평균	1,448	1,827	1,643	3,249

- 1) 전체폐기물 기준 저위발열량
- 2) (가연분+회분)만의 저위발열량

3.5 열중량 분석

유기성슬러지를 건조, 소각하여 연료화하는 방법은 공정이 비교적 단순하지만 유기성슬러지의 완전연소 온도를 판단하기 위해 온도변화에 따른 중량변화를 확인하는 열중량분석을 시행하였다. 열중량분석은 수분증발 정도와 량, 혼합물질의 개수와 량, 그리고 저온에서 휘발하는 물질 포함 여부를 판단하기 위한 자료를 얻기 위한 것이다.



[그림 3] 5개 업종별 대표적인 시료의 TGA 그래프.

그림 3은 산업분류 코드 업종별 5개 시료에 대하여 열중량분석 결과를 나타낸 것이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 5개 시료의 특징적인 면을 확인할 수 있다. T업체 슬러지의 경우 폐수처리 슬러지가 아닌 공정오니로서 수분함량이 35~39% 가량으로 매우 낮으며, 130℃ 전후에서 수분 및 휘발분의 증발이 일어나고 170~350℃와 350~700℃에서 2차에 걸친 감량(연소)이 일어나는 특징을 보이고 또한 잔류물중 일부가 500℃ 이후에도 지속적인 감량을 가지므로 800~900℃ 부근에서 의 연소도 고려해야 할 것으로 판단된다. C업체 슬러지의 경우, 슬러지 내 무기물 함량이 높고 함수율이 낮아 114℃ 부근에서 수분 및 휘발분 증발이 일어나고 200~400℃에서 1차 감량, 400~630℃에서 2차 감량 그리고 650~750℃ 부근에서 3차 감량이 일어나 3종의 성분이 포함된 것으로 판단되며, 800℃까지 지속적인 감량이 일어나므로 연소온도를 800℃까지 올릴 필요가 있다. Q업체 슬러지의 경우, 121℃에서 수분 및 휘발분의 증발이 일어나고 200~450℃ 부근에서 감량이 일어나며 무기물의 함량이 매우 낮아 600℃ 정도에서 연소가 가능할 것으로 판단된다. L업체와 O업체 슬러지의 경우, 150℃와 165℃에서 수분 및 휘발분 증발이 일어나며 200~500℃에서 감량(연소)이 일어나고 그 이후 큰 변화가 없으므로 600℃ 정도서 저온연소가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

울산지역의 산업단지에서 발생하는 유기성슬러지의 물리·화학적 특성 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 삼성분 분석 결과, 20개 업체의 전체 평균 수분함량은 72.9%, 평균 가연분은 18.5%, 평균 불연분은 8.6%로 나타났으며 대부분의 자료점들이 집중하여 자료의 분포구간을 간접적으로 나타내는 25번째 백분위값과 75번째 백분위값 사이의 구간은 수분함량 67.0~84.8%, 가연분 11.3~24.0%, 불연분 3.0~11.0%로 나타났다.
- 2) 원소분석 결과 20개 업체의 전체 평균값은 C 33.9, O 26.4, H 4.4, N 4.4, S 0.6%로 나타났으며 자료의 분포구간을 간접적으로 나타내는 25~75번째 백분위값 사이의 구간은 C 24.5~41.2, O 22.0~30.0, H 3.7~5.1, N 2.1~6.2, S 0.0~0.8%로 나타났다.
- 3) 저위발열량이 1,500~2,000 kcal/kg 사이인 6개 업체와 2,000 kcal/kg 이상의 발열량을 가지는 4개 업체는 직접 연소 처리하여 에너지화하는 것이 가능할 것으로

판단되지만 수분건조나 탈수시스템의 확립이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

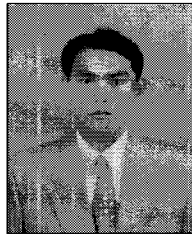
- 4) 산업분류 코드 업종별 5개 시료에 대한 열중량분석 결과, 2개 업종에서 발생하는 유기성슬러지의 경우 80 0℃ 이상에서 연소를 해야 할 것으로 판단되며, 3개 업종의 유기성슬러지는 600℃ 정도에서 저온연소가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 환경부, “2006 전국 지정폐기물 발생 및 처리현황”, 2007.
- [2] 환경부, “유기성오니 처리 종합대책”. 2006.
- [3] 한국자원공사, “국내 폐기물 에너지화 현황 및 활성화 방안”, 제6회 환경정책 설명회 및 신기술 발표·전시회, pp. 591~605, 2008.
- [4] 환경부 폐기물에너지팀, “폐기물 에너지화 종합대책”, 제6회 환경정책 설명회 및 신기술 발표·전시회, pp. 555~574, 2008.
- [5] 환경관리공단 환경에너지처, “국내 환경에너지 사업 추진방안”, 제6회 환경정책 설명회 및 신기술 발표·전시회, pp. 661~679, 2008.
- [6] 환경부, 폐기물공정시험법, 환경부 고시 제2007-151호, 2007.
- [7] 산업단지공단, 국가산업단지산업동향, 2007.
- [8] 신충식, “유기성 오니 종합대책(안)”, 한국폐기물학회 춘계학술발표논문집, pp. 512~519, 2006.
- [9] 환경부, “저온건조기술에 의한 슬러지 감량화 및 연료화에 관한 연구”, 2006.
- [10] 환경부, “생활폐기물 소각시설에서의 하수슬러지 혼합소각 지침”, 2007.
- [11] 황진우, “하수슬러지성상에 따른 건조-소각을 위한 슬러지 성상분석 연구”, 한국폐기물학회지, 제19권, 제3호, pp. 283~291, 2002.

이 강 우(Gang-Woo Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1995년 8월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 2002년 8월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : (주) 유성 중앙연구소 소장

<관심분야>

산업폐기물처리, 소각로 해석 및 설계

김 민 철(Min-Choul Kim)

[정회원]



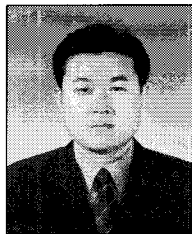
- 2003년 2월 : 동아대학교 환경공학과(공학사)
- 2005년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 2005년 2월 ~ 현재 : (주) 유성 중앙연구소 주임연구원

<관심분야>

산업폐기물처리, 소각로 해석 및 설계

이 재 정(Jae-Jeong Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 2003년 8월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 2008년 2월 ~ 현재 : (주) 유성 중앙연구소 연구실장

<관심분야>

유해가스처리, 산업폐기물처리, 환경정책

이 만 식(Man-Sig Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 부경대학교 화학공학(공학사)
- 1994년 8월 : 동아대학교 화학공학(공학석사)
- 2003년 8월 : 부경대학교 화학공학(공학박사)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 선임연구원

<관심분야>

수질/가스 처리, 가스하이드레이트 응용기술

박 흥 식(Hung-Suck Park)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울시립대학교 환경공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과(공학석사)
- 1990년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 토목환경공학부 정교수

<관심분야>

산업폐기물 에너지 자원화, 생태산업단지, LCA

김 지 원(Ji-Won Kim)

[정회원]



- 1992년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)

<관심분야>

산업폐기물 에너지 자원화, 생태산업단지, LCA

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1990년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

대기오염제어, 폐기물처리, 이산화탄소 흡수