



T시 생활폐기물의 물리화학적 특성 및 소각재 용출특성

박준석[†]

강원대학교 환경공학과

(2010년 6월 16일 접수, 2010년 6월 23일 수정, 2010년 6월 24일 채택)

Physico-Chemical Characteristics of Municipal Solid Waste Generated from T City and Leaching Characteristics of the Incineration Ash

Joon-Seok Park[†]

Dept. of Env. Eng., Kangwon National University

ABSTRACT

This research was conducted to investigate physico-chemical characteristics of municipal solid waste (MSW) generated from T City, Gangwon-do and leaching characteristics of the incineration ash. From the results, bulk density of MSW in T city was 231 kg/m³. Combustible and incombustible components were in 94.0% and 6.0%, respectively. Food waste and papers in combustible component occupied 32.3% and 41.2%. Water, volatile solids, and ash content were 41.3%, 50.5%, and 8.2%. C, H, O, N, S, and Cl showed 51.4%, 6.3%, 26.7%, 1.1%, 0.2%, 0.5%, respectively. Low heating value (2,704 kcal/kg) of T city was similar to 2,764 kcal/kg of Chuncheon and was 1,000 kcal/kg higher than 1,467~1,584 kcal/kg of the past Kuro-gu and Koyang city. The specification of leaching characteristics of the incineration ash were within the Korean regulation standard.

Keywords : Municipal solid waste (MSW), Bulk density, Heating value, Leaching characteristics

[†]Corresponding author : wan5155@kangwon.ac.kr

초 록

본 연구는 강원도 T시를 중심으로 생활폐기물의 물리화학적 특성을 조사하여 생활폐기물의 적정관리 방안 및 처리방법에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고 하고자 실시되었다. 조사결과 T 시의 겉보기밀도는 평균 231 kg/m³이었으며, 가연성분과 비가연성분은 각각 94.0%와 6.0%이었다. 가연성분 중 음식물류폐기물(32.3%)과 종이류(41.2%)는 최근의 타 지역에 비하여 여전히 높은 비율을 차지하고 있어 철저한 분리배출이 필요하였다. 삼성분 중 수분, 가연분, 회분의 함량은 각각 41.3%, 50.5%, 그리고 8.2%이었으며, 원소조성 중 탄소, 수소, 산소, 질소, 황, 염소의 함량은 각각 51.4%, 6.3%, 26.7%, 1.1%, 0.2%, 0.5%를 나타내었다. 습윤저위발열량은 2,704 kcal/kg으로 춘천시의 2,764 kcal/kg와 유사하였으나 과거 구로구, 고양시의 1,467~1,584 kcal/kg 보다는 1,000 kcal/kg 이상 높았다. 또한 조제된 소각재의 용출시험 실시결과 모두 지정폐기물 환경 기준치를 크게 하회하여 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 생활폐기물, 겉보기밀도, 발열량, 용출시험

1. 서론

국내 생활폐기물의 1인 1일당 발생량은 1990년 2.3 kg/인·일을 기점으로 매년 감소추세를 보이고 있다. 쓰레기종량제가 실시된 직후인 1996년에는 1.1 kg/인·일을 나타낸 후 꾸준히 소폭 감소하여 2008년에는 1.04 kg/인·일을 나타내고 있다¹⁾. 1990년에는 1인 1일당 생활폐기물 발생량이 2.3 kg/인·일을 상회하였는데, 이는 당시 미국이나 일본, 독일 등과 같은 선진국에서 1.0 kg/인·일 내외이었던 것에 비하면 매우 높은 수치였다. 이러한 주요인은 당시 우리나라 난방·취사 연료가 주로 연탄이었기 때문에 전체 발생량에서 연탄재가 차지하는 비율이 높았기 때문이었으며, 그 이후 쓰레기종량제 실시와 에너지전환정책의 성공 및 국민들의 폐기물에 대한 의식수준 향상으로 1인 1일당 생활폐기물 발생량은 급감하였다. 하지만 또 다른 요인으로는 폐기물 발생량 산정시 청소차량의 운행회수와 적재용적을 기준으로 산정함으로써 실제보다 높은 1인 1일당 생활폐기물 발생량을 나타낸 이유도 있다. 그러나 청소행정의 현대화가 시작된 1990년대 초반에 청소시설에 운반차량 계근시설이 보급되기 시작하였고, 보다 정확한 폐기물 발생량의 산정이 가능함에 따라 1995년까지 해마다 폐기물 발생

량이 감소한 것으로 해석할 수도 있다. 한편, 1998년에는 IMF체제에서 폐기물 발생량이 다소 감소되었으나, 그 이후 조금씩 증가경향을 보이면서 현재는 선진국과 비슷한 1.0 kg/인·일 안팎의 발생량을 유지하고 있다²⁾.

폐기물 관리에서 가장 중요한 사항은 폐기물의 발생량과 질적 특성에 대한 분석이다. 생활폐기물의 발생량 및 물리, 화학적 특성은 폐기물관리 체계에서 중간처리 및 최종처리 시설의 설계 및 운영과 자원회수 및 재활용을 위해 중요한 인자이다^{3),4)}. 폐기물은 성상이 매우 불균등 질적이며, 발생량 및 물리화학적 특성은 발생지역에 따라 다르므로 다른 지역의 폐기물 성상 자료를 직접 인용하여 적용하는 데는 어려움이 있다. 그러므로 폐기물을 처리할 올바른 폐기물관리정책을 수립하기 위해서는 그 지역에서 발생하는 폐기물에 대한 발생량 및 물리화학적 성분분석 등에 대한 조사가 선행되어야 한다.

우리나라의 경우 매립장 반입쓰레기의 성상 변화는 1995년 쓰레기종량제와 2005년 유기성폐기물 직매립 금지에 의해 크게 두 차례에 걸쳐서 이루어 졌다. 예를 들면 음식물류폐기물 및 유기성 슬러지 등의 직매립 금지가 그 대표적인 것으로 이러한 물질의 반입 금지는 매립지의 수명 및 침출수 경향 그리고 메탄가스 발생 등에 상당히 많은 영향을 끼칠 것으로 생각되

고 나아가서는 매립지의 수명과도 직결될 수 있는 문제이다. 따라서 효율적인 매립지 관리를 위해서는 지속적인 반입쓰레기의 성상분석이 요구되고 있으나, 실제 매립지 반입쓰레기의 화학적 성상 분석 등에 관한 연구는 1995년 쓰레기종량제 실시 전후를 기점으로 다소 보고되었으나 그 이후에는 그다지 많지 않은 실정이다⁶⁾.

이에 본 연구에서는 강원도 T시를 중심으로 생활폐기물의 특성을 조사하여 생활폐기물의 적정관리 방안 및 처리방법에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 하였고, 소각재의 용출특성을 분석하여 지정폐기물 해당여부에 대해서도 검토를 실시하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 시료채취

T시 지역에서 배출되는 생활폐기물의 질적 특성과 악취를 위한 현장 시료채취는 2007년 2월(겨울철)과 2007년 5월(봄철)에 걸쳐 수행되었다. 강우에 의한 폐기물의 성상변화를 최소화하기 위하여 시료채취 당일을 포함하여 3일 동안 강우가 없었던 날을 선택하여 시료채취를 실시하였다. 폐기물의 성상은 발생원, 분리수거의 유무, 소득 및 생활수준, 계절 등에 따라 크게 다르기 때문에 본 연구에서는 발생원을 크게 주거지역과 비주거지역으로 구분하였다. 이를 좀 더 세분화하여 주거지역은 공동주택, 단독주택 및 농촌지역으로 나누었으며, 비주거지역은 상가지역과 업무지역으로 나누었다. 시료채취는 문전수거를 우선으로 하였으며, 필요시 매립장으로 반입되는 차장에서 실시하고 수거경로를 파악한 후 지역별로 분류하였다. 최종적으로 T시 생활폐기물의 전체적인 물리화학적 특성은 각 발생원에 대한 인구가중을 고려하여 구하였다. 본 연구에서는 각 발생원별 물리화학적 특성에 초점을 맞추기 보다는 T시 지역의 전체적 특성을 중심으로 타 연구 자료와 비교 검토하였다.

도시폐기물의 질적 특성조사, 특히 물리적 조성의 경우 대표성 있는 시료를 채취하기 위하여 많은 양의 시료를 필요로 한다. 폐기물 조사시 대표적인 결과를

얻기 위해서는 가능한 대량의 시료가 조사되어야 하는데 동일한 폐기물 더미에서 약 90kg의 시료로 측정된 값과 약 765kg의 시료로 측정된 결과는 큰 차이가 나지 않는다⁶⁾. 또한 약 90kg의 시료를 대상으로 한 측정치는 신뢰구간 95% 및 2% 오차범위 내에서 전체 폐기물의 조성을 잘 반영할 수 있다⁷⁾. 그러므로 본 조사에서는 지점 당 약 100kg 이상의 폐기물을 채취하여 현장에서 걸보기밀도를 측정하고 물리적 조성별로 분류한 후 각 성분별 무게를 측정하였다. 각 성분별로 원추사분법으로 시료를 채취하여 실험실로 운반한 후 분석에 이용하였다.

소각재 용출특성을 위한 시료는 겨울철과 봄철의 물리적 조성 평균값을 근거로 하여 각각의 성분비에 따라 조제하고 회화시켜 준비하였다.

2.2 분석방법

걸보기밀도는 쓰레기종량제 봉투를 파봉한 후 봉투에 담긴 혼합시료(가연성과 비가연성이 혼합된 생활폐기물)를 일정 부피(60L)의 용기에 넣고 약 30cm의 높이에서 3회 낙하시킨 후 감소한 양만큼 보충하고 다시 같은 높이에서 낙하시키는 과정을 3회 반복한 후 시료의 총 무게를 용기부피로 나누었다.

물리적 조성분석을 위해 가연성분은 음식물류, 종이류, 비닐/플라스틱류, 목재류, 섬유류, 고무, 피혁류 등 7성분으로 분류하였으며, 비가연성분은 철금속, 비철금속, 유리/도자기류, 기타(토사/연탄재) 등 4성분으로 분류하고 각각의 무게를 측정하였다.

채취한 시료는 수분손실을 줄이기 위하여 가급적 파쇄의 횟수를 줄여 수분함량을 측정하였으며, 수분함량 측정 후 건조시료를 약 0.5 cm 정도의 크기로 자른 뒤 가연분과 회분을 측정하였다⁸⁾. 건조 후 시료는 Planetary Ball Mill(FRITSCH GmbH/Pulverisette6)을 이용하여 분쇄하였으며, 40 mesh(약 0.64 mm) 체를 통과시킨 후 원소분석과 발열량 분석에 이용하였다. C, H, N, S는 원소분석기(VARIO EL, USA)를 이용하여 분석하였으며, O는 계산에 의하여 결정하였다. Cl은 토양화학분석법⁹⁾에 따라 전처리한 후 이온크로마토그래피(Ion Chromatography, Dionex-500,

USA)로 분석하였다. 발열량 분석은 Dulong식을 이용한 예측방법을 이용하였다.

소각재 용출시험은 폐기물공정시험법(KSLT, Korean Standard Leaching Test)⁹⁾에 따라 전처리하고 유도결합플라즈마 원자방출분광기(ICP-AES; Vista-PRO, Varian, Australia)를 이용하여 분석하였으며, 소각재 화학성분은 X-선 형광분석기(XRF; ZSX100e, Rigaku, Japan)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생활폐기물의 물리화학적 특성

3.1.1 겔보기밀도

[Table 1]은 T시와 타 지역 폐기물과의 겔보기밀도를 비교한 것이다^{10)~20)}. 강원도 T시의 2007년 생활폐기물의 겔보기밀도는 231 kg/m³으로 고양시(308 kg/m³)가 T시 보다 1.3배 더 높았으며, 구로구(165 kg/m³)와 동해시(172 kg/m³)는 T시의 약 0.7배 정도로 낮은 것으로 나타났다. 동해시는 172 kg/m³으로 T시 보다 겔보기밀도가 다소 낮게 나타났으나 생활권이 비슷한 또 다른 지역들의 겔보기밀도는 강원 영서 지역의 A시와 춘천에서 각각 212 kg/m³과 219 kg/m³으로 본 연구의 231 kg/m³과 큰 차이를 나타내지 않았다. 우리나라의 경우 매립장 반입쓰레기의 성상 변화는 1995년 쓰레기종량제와 2005년 유기성폐기물 직매립 금지에 의해 크게 두 차례에 걸쳐서 이루어졌다. 본 연구에서는 1996년부터 2008년까지의 생활폐기물 겔보기밀도를 나타내었으나 2005년 유기성폐기물 직매립 금지 이후의 겔보기밀도는 어떠한 경향을 파악하기는 어려웠다[Table 1]. 이는 생활폐기

물의 특성변화가 어떠한 정책에 의해서만 변화되는 것이 아니라 지역특성, 도시규모, 생활수준, 수거빈도 등의 영향을 받기 때문이며, 유기성폐기물 직매립 금지에 따른 영향을 정확하게 평가하기 위해서는 동일 지역에 대한 다년간의 분석자료가 필요하다고 판단된다. 윤 (2008)¹⁷⁾은 충북 J시에 대하여 현장 연구를 통하여 겔보기밀도가 유기성폐기물(특히 음식물류폐기물)의 직매립 금지 이전인 2004년 248.7 kg/m³에서 이후인 2007년 122.9 kg/m³으로 크게 감소하였다고 보고하였다.

3.1.2 물리적 조성

[Table 2]는 T시와 타 지역 폐기물과의 물리적 조성을 비교한 것이다.^{5),10)~15),17)~20)} T시 폐기물의 가연성분과 비가연성분은 각각 94.0%와 6.0%이었다. T시의 가연성분은 고양시(96.6%)에 비해 약 3%정도 낮은 수치였으며, 구로구(93.7%) 및 마포구(92.5%) 비교해 볼 때는 약 1% 정도의 차이를 나타내 거의 비슷하였다. 생활권이 유사한 강원도 영동지역인 동해시는 91.6%, 강원영서지역 A시는 89.7%, 그리고 춘천시는 92.2%이었다. J시의 경우 다른 지역과 달리 가연성분이 90% 미만을 나타내었는데 이는 기타 성분에 유기물과 무기물이 혼합되어 있어서 나타난 결과라고 생각된다. T시 생활폐기물의 음식물류폐기물(32.3%)과 종이류(41.2%)는 최근의 타 지역에 비하여 여전히 높은 비율을 차지하고 있어 철저한 분리배출이 필요할 것으로 사료된다. 환경부 통계자료에 의하면 가연성분 중 음식물·채소류는 1990년의 23,003 톤/일에서 꾸준히 감소하여 2008년에는 15,142 톤/일까지 감소하였으며, 종이류도 1990년의 11,870 톤/일에서 꾸준히 감소하여 5,136 톤/일까지 감소하였다¹⁾. 음식물·채소류와 종이류가 매년 감소추세를 보인 것

[Table 1] Compare to Bulk Density to Different Cities

(Unit : kg/m³)

Item	Kuro-gu ¹⁰⁾	Koyang City ¹¹⁾	Mapo-gu ¹²⁾	A City, Gangwon-do ¹³⁾	Donghae ¹⁴⁾	Chuncheon ¹⁵⁾	Several Cities, Chungnam ¹⁶⁾	J City, Chungbuk ¹⁷⁾			Asan ¹⁸⁾	This Research (T City) ¹⁹⁾	Chungju ²⁰⁾
Investigation Time (Year)	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003~2005	2004	2005	2007	2006	2007	2008
Bulk Density	165	308	212	219	172	96~220	128~208	248.7	186.7	122.9	210~243	231	150

은 정부의 적극적인 폐기물재활용 및 감량화의 홍보 효과가 실효를 거둔 것으로 평가되고 있다²⁾.

3.1.3 삼성분

[Table 3]은 T시와 타 지역 폐기물과의 삼성분을 비교한 것이다^{10)~13),15),17)~20)}. T시의 경우 수분, 가연분, 회분의 함량은 각각 41.3%, 50.5%, 그리고 8.2%이었다. 수분함량은 2007년의 J시가 가장 낮아 15.9%를 나타내었으며, 춘천시와 동해시는 각각 21.1%와

36.7%를 나타내었다. T시의 수분함량은 41.3%로 동해시(36.7%), 마포구(44.1%)와 유사하였으나, 최근의 음식물류폐기물의 분리배출 정책을 감안한다면 다소 높은 수치라고 판단된다. 이는 T시의 경우 [Table 3]에서 보는 바와 같이 음식물류폐기물 함량이 32.3%로 높게 나타났기 때문으로 사료된다. J시의 경우 음식물류폐기물 직매립 금지 이전인 2004년에는 수분함량이 46.4%이었으나 이후인 2007년에는 15.9%로 급격히 감소하였는데²⁾, 이는 앞서 언급하였듯이 음식

[Table 2] Compare to Physical Component to Different Cities

(Unit : %, wet weight basis)

Item	Kuro-gu ¹⁰⁾	Koyang City ¹¹⁾	Mapo-gu ¹²⁾	A City, Gangwon-do ¹³⁾	Donghae ¹⁴⁾	Chuncheon ¹⁵⁾	Pusan ⁵⁾	J City, Chungbuk ¹⁷⁾			This Research (T City) ¹⁹⁾	Chungju ²⁰⁾	
Investigation Time (Year)	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2005	2004	2005	2007	2007	2008	
Combustible	Food	49.6	48.7	38.2	26.6	36.9	-	9.8	34.1	27.3	5.5	32.3	24.5
	Paper	27.3	26.1	30.1	24.2	31.4	-	44.6	27.9	37.6	50.6	41.2	29.1
	Vinyl/Plastic	11.9	15.2	18.0	22.8	16.5	-	28.9	14.8	16.8	22.6	15.7	22.7
	Wood	0.7	1.1	0.9	3.8	1.3	-	1.0	1.3	1.7	1.4	0.4	1.6
	Textile	3.3	4.3	4.0	9.6	1.5	-	3.9	1.9	4.5	4.7	3.9	5.7
	Rubber	0.9	1.2	1.3	2.8	0.3	-	2.3	0.7	1.5	0.0	0.5	2.0
	Leather					0.3		-			3.1	(0.045)	
Etc.	-	-	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	1.8	
Subtotal	93.7	96.6	92.5	89.7	91.6	92.2	90.5	80.5	89.4	87.9	94.0	87.4	
Incombustible	Fe-metal	2.0	1.3	2.2	2.0	3.2	-	2.3	1.6	1.8	1.5	0.9	1.7
	Non Fe-metal				2.6							0.4	1.4
	Glass/Ceramics	4.3	2.1	5.3	2.4	4.2	-	5.2	5.1	3.1	5.5	4.7	6.4
	Etc.	NG ^{a)}	NG	NG	3.4	0.9	-	1.9	12.8 ^{b)}	5.6 ^{b)}	5.1 ^{b)}	NG	3.1
	Subtotal	6.3	3.4	7.5	10.3	8.4	7.8	9.4	19.5	10.5	12.1	6.0	12.6
Sum	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	100.0	99.9	100.0	100.0	100.0	

a) NG = Not Generated

b) Mixture of combustibile and incombustibile miscellaneous wastes

[Table 3] Compare to Three Component to Different Cities

(Unit : %, wet weight basis)

Item	Kuro-gu ¹⁰⁾	Koyang City ¹¹⁾	Mapo-gu ¹²⁾	Donghae ¹³⁾	Chuncheon ¹⁵⁾	J City, Chungbuk ¹⁷⁾			Asan ¹⁸⁾	This Research (T City) ¹⁹⁾	Chungju ²⁰⁾
Investigation Time (Year)	1996	1997	1999	2001	2002	2004	2005	2007	2006	2007	2008
Water	48.3	57.8	44.1	36.7	21.1	46.4	32.3	15.9	19.98	41.3	27.6
Volatile Solid	40.0	32.8	42.2	52.6	67.7	45.1	57.0	65.7	63.41	50.5	60.5
Ash	11.7	9.4	13.7	10.7	11.3	8.5	10.7	18.6	16.59	8.2	11.9

물류폐기물 직매립 금지 조치의 효과인 것으로 판단된다. 동일한 기간인 2007년도의 수분함량이 T시의 경우 41.3%로 J시의 15.9% 보다 높았던 것으로 보아 T시에 대한 음식물류폐기물의 철저한 분리배출에 대한 계도 및 홍보가 필요할 것으로 사료된다.

3.1.4 원소조성

[Table 4]는 T시와 타 지역 폐기물과의 원소조성을 비교한 것이다^{(10)~(14), (19), (20)}. T시의 탄소는 51.38%로 마포구의 54.1%를 제외하고는 타 지역에 비해 다소 높았으며, 염소는 약 0.5%로 타 지역에 비해 다소 낮은 것으로 나타났다. 염소함량은 강원영서지역 A시에서 1.7%로 가장 높게 나타났다. 황은 대체적으로 0.1~0.5%의 범위에 있었으나 동해시에서는 0.9%로 나타나 타 지역에 비하여 높은 값을 보이고 있었다.

3.1.5 발열량

Duong식으로 계산한 T시의 건조고위발열량을 보

면 5,242 kcal/kg으로 조사되어 타 지역의 4,622~4,988 kcal/kg보다 다소 높았으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다([Table 5])^{(10)~(15), (17), (19), (20)}. 그러나 습윤저위발열량에서는 T시 지역이 2,704 kcal/kg으로 춘천시의 2,764 kcal/kg과 유사하였으나 과거 구로구, 고양시의 1,467~1,584 kcal/kg 보다는 1,000 kcal/kg 이상 높았다. 이는 구로구 및 고양시의 인용 자료는 1996, 1998년에 조사된 것으로써 그 동안 폐기물정책에 많은 변화가 있었음을 나타내 주고 있는 것이다. J시의 경우 음식물류폐기물 직매립 금지 조치 이전인 2004년에는 습윤저위발열량이 1,801 kcal/kg으로 낮았으나 이후인 2007년에는 3,566 kcal/kg으로 2배 정도 증가하였다. 최근에는 종량제 봉투내 폐기물 발생에서 수분함량이 높은 음식물류폐기물의 발생이 줄고 수분함량이 낮으며 발열량이 높은 종이류와 비닐/플라스틱류가 상대적으로 높은 비율을 차지함에 따라 습윤저위발열량도 증가하는 추세에 있다. 2008년도 충주시의 경우 습윤저위발열량은 2,500 kcal/kg 이상을 나타내었다.

[Table 4] Compare to Ultimate Analysis to Different Cities

(Unit : %, dry weight basis)

Item	Kuro-gu ⁽¹⁰⁾	Koyang City ⁽¹¹⁾	Mapo-gu ⁽¹²⁾	A City, Gangwon-do ⁽¹³⁾	Donghae ⁽¹⁴⁾	This Research (T City) ⁽¹⁹⁾	Chungju ⁽²⁰⁾
Investigation Time (Year)	1996	1997	1999	2000	2001	2007	2008
C	42.9	48.6	54.1	47.6	47.3	51.38	41.8
H	6.3	7.1	7.0	6.5	8.1	6.34	5.6
O	36.2	26.2	24.2	35.6	31.3	26.72	33.0
N	1.4	1.6	0.9	0.8	1.7	1.05	1.6
S	0.3	0.5	0.4	0.1	0.9	0.21	0.4
Cl	1.1	0.9	0.7	1.7	-	0.46	1.1
Ash	11.8	15.1	12.7	7.7	10.7	13.84	16.4

[Table 5] Compare to Heating Values to Different Cities

(Unit : %, wet weight basis)

Item	Kuro-gu ⁽¹⁰⁾	Koyang City ⁽¹¹⁾	Mapo-gu ⁽¹²⁾	A City, Gangwon-do ⁽¹³⁾	Donghae ⁽¹⁴⁾	Chuncheon ⁽¹⁵⁾	J City, Chungbuk ⁽¹⁷⁾			This Research (T City) ⁽¹⁹⁾	Chungju ⁽²⁰⁾
Investigation Time (Year)	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2004	2005	2007	2007	2008
HHV ^(a)	4,622	4,868	4,931	4,988	4,938	-	-	-	-	5,242	4,603
LHV ^(b)	1,584	1,467	2,307	2,032	2,439	2,764	1,801	2,434	3,566	2,704	2,557

^{a)} High Heating Value ^{b)} Low Heating Value

3.2 소각재 용출 및 화학적 특성

소각재의 지정폐기물 여부를 판정하기 위하여 한국 용출시험 방법에 따라 용출실험을 실시하였으며, 용출액에 대한 분석결과를 [Table 6]에 나타내었다. 소각재는 겨울철과 봄철의 물리적 조성 평균값을 근거로 하여 각각의 성분을 조제하고 회화시켜 준비한 후 용출시험을 실시하였다. 소각재 용출액에서 Hg은 검출되지 않았으며, Cr, Cu, Pb, Cd, As는 각각 0.010, 0.010, 0.050, 0.007, 0.011 mg/L로 기준치를 크게 하회하였다. 염소는 약 6,930 mg/L가 검출되었으며, 이를 건조질량으로 환산하면 $6,929.7 \text{ mg/L} \times 0.2 \text{ L(용출용액)} \div 0.02 \text{ kg(소각재 건조질량)} = 6,930 \text{ mg/kg} \approx 7\%$ 정도가 된다. 참고로 소각재의 화학성분 함량을 분석한 [Table 7]을 살펴보면 Cl이 12.2% 정도로 나타나 있다. 소각로에서 배출된 소각재는 아니지만 본 연구에서 조제된 소각재의 용

출특성을 보면 향후 생활폐기물 소각잔재의 유해성은 없을 것으로 판단된다. 타 연구를 살펴보면 소각재의 중금속 용출특성은 대체적으로 비산재가 바닥재 보다 훨씬 높은 농도로 나타남을 알 수 있다([Table 6] 참조)^{20)~23)}. T시의 결과를 타 연구와 비교해 보면 매우 낮은 수치를 나타내었는데, 이는 본 연구에서는 실험실에서 조제된 시료에 대하여 용출특성을 분석하였고, 타 연구에서는 실제 소각로에서 발생한 소각재의 용출특성을 분석하였기 때문으로 생각된다. 실제 소각로에서는 병원성폐기물이나 폐목재, 건설폐기물 등도 함께 소각될 수 있기 때문에 본 연구결과 보다 높은 중금속함량을 나타낼 수 있다. 이 등(2003)²³⁾은 병원성폐기물이나 폐목재, 건설폐기물 등을 혼소하고 있는 소각로의 소각재에 대하여 발표를 하였는데, 타 연구결과 보다 다소 높은 농도를 나타내고 있었다.

소각재의 개략적인 화학성분을 알아보기 위해서

[Table 6] Leaching Characteristics for Incineration Ash

(Unit : mg/L)

Item	Cr	Cu	Pb	Cd	As	Hg	Cl
This Research	0.010	0.010	0.050	0.007	0.011	ND ^{a)}	6,929.7
Lee et al. ²⁰⁾	Fly Ash	0.270	0.393	42.25	0.118	-	-
	Bottom Ash	0.050	4.952	0.169	0.007	-	-
Park et al. ²¹⁾	Fly Ash	0.40~1.00	0.60~0.80	2.6~84.0	0.03~0.64	-	-
	Bottom Ash	0.20~0.30	1.60~9.00	0.40~3.80	ND~0.03	-	-
Jung et al. ²²⁾	Fly Ash	1.1	0.5	32.7	4.9	5.9	ND
	Bottom Ash	0.1	0.4	4.4	ND	ND	ND
Lee et al. ²³⁾	Incineration Ash	ND~8.3	ND~3.2	2.3~39.3	ND~34.4	-	ND~1.6
Permission Standard	1.5 as Cr ⁶⁺	3.0	3.0	0.3	1.5	0.005	-

^{a)}Not detected

[Table 7] Chemical Compositions of Incineration Ash

Component	F	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO
Amount (wt%)	0.308	2.53	5.57	7.14	11.6	2.41	1.08	12.2	8.69	40.8
Component	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	CuO	ZnO	Br	BaO	-
Amount (wt%)	5.71	0.372	0.05	1.13	0.035	0.064	0.100	0.007	0.204	-

X-선 형광분석기로 분석을 하여 [Table 7]에 제시하였다. 전체성분 중 CaO가 40.8%로 대부분을 차지하였으며, 다음으로는 Cl(12.2%), SiO₂(11.6%), K₂O(8.69%), Al₂O₃(7.14%), TiO₂(5.71%), MgO(5.57%), Na₂O(2.53%), P₂O₅(2.41%) 순으로 높았다. 중금속류로는 화합물형태로 Cr₂O₃(0.372%), Fe₂O₃(1.13%), NiO(0.0354%), CuO(0.0641%), ZnO(0.0995%) 등이 포함되어 있었다.

4. 결론

본 연구는 강원도 T시를 중심으로 생활폐기물의 특성을 조사하여 생활폐기물의 적정관리 방안 및 처리 방법에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하고 하고자 실시되었으며, 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 겉보기밀도는 평균 231 kg/m³이었으며, 생활권이 비슷한 강원 영서지역 및 춘천시와 유사하였다.
2. 가연성분과 비가연성분은 각각 94.0%와 6.0%이었으며, 가연성분 중 음식물류폐기물(32.3%)과 종이류(41.2%)는 최근의 타 지역에 비하여 여전히 높은 비율을 차지하고 있었다.
3. 삼성분 중 수분, 가연분, 회분의 함량은 각각 41.3%, 50.5%, 그리고 8.2%이었다. T시의 수분 함량이 높은 것은 음식물류폐기물 함량이 32.3%로 높게 나타났기 때문에 음식물류폐기물의 철저한 분리배출에 대한 계도 및 홍보가 필요할 것으로 사료된다.
4. 원소조성 중 탄소, 수소, 산소, 질소, 황, 염소의 함량은 각각 51.4%, 6.3%, 26.7%, 1.1%, 0.2%, 0.5%를 나타내었다.
5. 습윤저위발열량은 2,704 kcal/kg으로 춘천시의 2,764 kcal/kg 보다는 다소 낮았으나 구로구, 고양시의 1,467~1,584 kcal/kg 보다는 1,000 kcal/kg 이상 높았다.
6. 조제된 소각재의 용출시험 실시결과 모두 지정폐기물 판정 기준치를 크게 하회하여 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 환경부·한국환경자원공사, “전국 폐기물 발생 및 처리현황” (1991~2009).
2. 이남훈, “우리나라 폐기물 매립시설 현황”, *지반환경*, 5(1), pp. 8~18 (2004).
3. 이건주, “경기 동부지역 폐기물의 성상 및 물리·화학적 특성 연구”, *한국폐기물학회지*, 19(4), pp. 473~480 (2002).
4. 김정환, 유경선, 김남찬, “생활폐기물 바닥재의 물리·화학적 특성분석”, *한국환경분석화학회지*, 4(1), pp. 9~13 (2001).
5. 김정권, “유기성폐기물 반입금지에 따른 매립지 반입쓰레기 특성 및 침출수 변화에 관한 연구”, *한국폐기물학회지*, 23(7), pp. 600~607 (2006).
6. 남궁완, 이동훈, “폐기물처리공학”, *동화기술*, pp. 78~80 (1997).
7. Martin, J. H., “A Sampling Protocol for Composting, Recycling, and Re-use of Municipal Solid Waste”, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 45, pp. 864~870 (1995).
8. 환경부, “폐기물공정시험법” (2004).
9. 농업기술연구소, “토양화학분석법” (1988).
10. 건국대학교 산업기술연구소, “구로구자원회수시설 기본계획 및 환경영향평가 쓰레기성상조사” (1997).
11. 건국대학교 산업기술연구소, “고양시 생활폐기물 소각장주변 대기환경 영향조사 연구용역” (1998).
12. 건국대학교 산업기술연구소, “마포구자원회수시설 설계를 위한 쓰레기 성상조사연구” (2000).
13. 이건주, “강원도 영서지역 생활폐기물 및 슬러지의 물리·화학적 특성에 관한 연구”, *유기물자원화*, 12(4), pp. 112~120 (2004).
14. 강원지역환경기술개발센터, “동해시 폐기물 발생특성 및 관리방안” (2002).
15. 송동근, 김승도, 장은석, 박중호, 정재성, 공성호, “춘천시 생활폐기물의 물리·화학적 특성에 대한 연

- 구”, 한국폐기물학회지, 20(8), pp. 807~817 (2003).
16. 정진도, 김장우, 한종민, “하절기 충청남도 서부 지역 중소도시에서 발생하는 생활폐기물의 물리·화학적 특성에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 23(4), pp. 344~349 (2006).
 17. 윤석표, “음식물 폐기물 정책 변화가 도시생활 폐기물의 조성변화에 미치는 영향”, 유기물자원화, 16(1), pp. 39~45 (2008).
 18. 현재혁, 김지훈, 복장빈, 최원영, “아산시 생활폐기물의 지역 및 계절별 배출특성에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 24(7), pp. 629~634 (2007).
 19. 조병렬, 연익준, 이병찬, “생활폐기물의 발생원과 최종 매립장에서 물리화학적 특성 비교분석 : 충주시를 중심으로”, 한국지반환경공학회논문집, 10(3), pp. 47~52 (2009).
 20. 이성호, 이대근, “도시쓰레기 소각재의 용출특성에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 17(6), pp. 741~748 (2000).
 21. 박현서, 정진도, “소각재에 함유된 중금속성분의 농도 분석”, 한국폐기물학회지, 18(3), pp. 302~308 (2000).
 22. 정현태, 김기현, 유종익, 최용철, 윤기섭, 서용철, “도시 폐기물 소각재의 물리·화학적 특성 및 용출 방법에 따른 중금속 용출 특성 평가 연구”, 한국폐기물학회지, 19(4), pp. 407~417 (2000).
 23. 이한국, 최동혁, 이동훈, “중소형 소각시설 소각재에 의한 중금속 오염도 평가”, 한국폐기물학회지, 20(4), pp. 322~330 (2000). 