서울시립대학교 도시과학연구원
도시과학논총 제27권 2001년 12월
The Journal of Urban Sciences
The University of Seoul
Vol. 27, No. 1, December 2001

생활폐기물의 물리적 조성에 따른 화학적 특성

서동천 · 이한국 · 정유진 · 이정준 · 이동훈
(서울시립대학교 환경공학부)

Chemical Characteristics by Physical Compositions of Municipal Solid Waste

Seo, Dong-Cheon · Lee, Han-Kook · Jung, You-Jin
Lee, Jung-Joon · Lee, Dong-Hoon

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate chemical characteristics of municipal solid waste generated in Korea. Waste samples for the survey were sampled in Kangdong-gu in Seoul, and in 12 landfill sites in Korea. For the estimation of chemical characteristics by physical composition, the analysis of three components, chemical components, and heat value was carried out.

The values of chemical characteristics were calculated, but the results showed that small composition ratio wastes had larger variation. The degradable organic carbon (DOC) of MSW in Korea is smaller than the value in IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Default Method. The chemical formula for MSW in Korea is $C_{26.44}H_{46.31}O_{12.49}N \cdot 38.24H_2O$.

Ⅰ. 서론

도시에서 발생하는 생활폐기물을 보다 효율적으로 관리하기 위한 정책의 수립, 처리 및 처분 방법의 결정, 장래의 관리방안의 검토 등 폐기물 관리의 전반적인 부분에 있어서 대상이 되는 폐기물의 양적인 특성 뿐만 아니라 질적인 특성을 정확히 파악하는 것은 가장 기본적이며 중요한 선행단계라고 할 수 있다. 이를 위해 폐기물 특성을 파악하기 위하여 폐기물의 양적인 발생특성을 비롯하여 물리적 특성인 겉보기 밀도, 적재계수, 물리적 조성 등이, 화학적 특성으로써 삼성분, 화학적 조성, 발열량 등이 조사되며, 이외에 필요에 따라 용출시험이나 중금속의 함유량시험, 생분해도조사 등이 수행되고 있다[1,2,3,4].

그러나, 이들 특성을 모두 조사하는 것은 장시간이 소요될 뿐만 아니라 많은 비용이 필요하게 된다. 또한, 폐기물의 발생특성은 폐기물 발생지역의 여러 가지 요인에 따라 변화되며 조사대상지역에 국한된 조사결과이므로 국가 전체에 대한 특성결과로 보기에는 한계가 있을 수밖에 없다.

이에 본 연구에서는 폐기물의 물리적 조성별 화학적 특성을 조사한 결과를 이용하여 물리적 조성에 따라 화학적 특성이 크게 변화되지 않을 것으로 가정하여 물리적 조성별 화학적 특성의 대표적인 값을 구하고자 하였다.

Ⅱ. 연구방법

1. 폐기물의 물리적 조성

본 연구에서는 폐기물의 물리적 조성에 따른 화학적 특성을 파악하기 위하여 먼저 생활폐기물을 채취한 후 이를 물리적 조성에 따라 분류하였다.

시료는 서울시의 강동구에서 1년에 걸쳐 계절별로 배출된 폐기물에서 채취한 것과 전국에 분포하고 있는 사용중인 대규모(16만㎡ 이상) 매립지 중 12개소(원주, 춘천, 대전, 청주, 대구, 마산, 진주, 창원, 군산, 광주, 목포, 제주)에 반입되고 있는 폐기물을 현장에서 채취하여 사용하였고, 그 개요를 다음의 Table 1에 나타내었다

Table 1. Status of Survey

Site	Period of Survey
Kangdong-gu In Seoul	May 1996 – Dec. 1996
12 Landfills in Korea	Sep. 2000 - Oct. 2000

물리적 조성의 조사는 인력에 의한 직접적인 작업에 의해 음식물, 종이류, 플라스틱류, 섬유류, 고무/가죽류, 목재류 등의 가연성분과 유리류, 금속류, 돌/자기류 등의 불연성분으로 분리하여 각각의 무게를 측정하여 습기준 무게비의 물리적 조성을 구하였다. 판단이 모호한 폐기물 성분은 기타성분으로 하여 가연성기타와 불연성기타로 조사하였다.

2. 폐기물의 화학적 특성

폐기물의 화학적 특성으로는 삼성분, 화학적 조성, 발열량을 조사하였으며

물리적 조성에 따른 화학적 특성을 살펴보기 위하여 물리적 조성의 조사를 위해 분류된 폐기물 시료 중 불연성분을 제외한 가연성분을 대상으로 사용하였다.

2.1 삼성분

삼성분은 폐기물의 수분, 가연분, 회분의 세 가지 성분을 말한다. 수분은 물리적 조성에 따라 분류된 각 폐기물을 열풍건조기(Forced Convection Drying Oven C-DF, Changshin Scientific Co., Korea)에서 70-80℃로 1-2일 정도 충분히 건조한 후 건조 전후의 무게변화로부터 계산하여 구하였다. 폐기물공정시험법에서는 105-110℃에서 건조시키도록 하였으나 화재의 위험이나 폐기물 성분의 휘발 등을 감소시키기 위해 비교적 낮은 온도에서 보다 장시간에 걸쳐 건조되도록 하였다.

가연분과 회분의 경우에는 건조된 폐기물을 파쇄기(EW2-135-150, EWHA Crusher, Korea)를 이용하여 파쇄하고 이를 전기로(Electric Muffle Furnace, SW-082, Samwoo Science, Korea)에서 약 600℃로 30분 동안 강열하여 강열 전후의 무게변화로부터 구하였다. 이는 건조된 시료에 대한 측정결과이므로 수분을 포함한 습기준 삼성분으로 계산하였다.

2.2 화학적 조성

폐기물의 화학적 조성은 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N), 황(S), 염소(Cl) 등에 대한 원소조성이며 건조 및 파쇄가 이루어진 가연성 폐기물 시료를 이용한다. 산소 및 염소를 제외한 탄소, 수소, 질소, 황 성분의 조성은 원소분석기(EA 1108 CHNS/O, Elemental Analyzer, Fisons Instrumentals, Italy)를 이용하여 각각의 성분비를 분석할 수 있다. 염소는 원소분석기에 의한 분석방법이 없기 때문에 ASTM법(D2361-85, Standard Test Method for Chlorine in Coal)에 준하여 열량계에서 시료가 완전연소되어 발생한 가스를 흡수액(0.1N NaOH 용액)에 흡수시킨 후, 흡수액 중의 염소농도를 미국의 Standard Method (4500-Cl-B. Argentometric Method), Standard Method(4500-Cl-F. Ion Chromato- graphy Method), 공정시험법 등의 측정방법에 의해 분석하였다. 산소성분은 전체조성에서 다른 조성을 제외한 나머지로 계산하여 구하였다.

2.3 발열량

폐기물의 발열량은 건조 및 파쇄된 가연성분의 폐기물 시료에 대하여 조사하였다. 발열량의 측정을 위해서 열량계(1261 EA, Parr Instrument Co., US)를 사용하였으며, 측정된 발열량은 건기준의 고위발열량이므로 이를 진발열량인 습기준의 저위발열량으로 환산하기 위해서는 다음의 식에 의한 계산이 필요하다.

$$H_l = H_{h0}\left(1-\frac{W}{100}\right) - 6(9H+W)$$

여기서,

H_l: 폐기물의 습기준 저위발열량 (kcal/kg-wet waste)

H_{h0}: 폐기물의 발열량 실측값
(고위발열량, kcal/kg-dry waste)
W: 폐기물의 수분(%, wet base w/w)
H: 폐기물의 수소(%, wet base w/w)

Table 2. Mean value of the results

Composition	Three Components (%, wet w/w)			Chemical Components (%, dry w/w)						High Heat-value (㎉/㎏)
	Water	Combustible	Ash	C	H	O	N	S	Cl	
Food	59.59	26.34	14.07	35.17	5.32	20.14	2.86	0.02	3.09	3615.67
Paper	41.86	49.54	8.59	39.97	6.11	34.55	0.73	0.05	5.12	3945.56
Wood	29.61	66.37	4.02	45.39	6.26	38.62	0.66	0.01	3.84	4560.43
Plastics	26.10	61.08	12.82	53.49	8.39	16.40	0.81	0.02	5.21	7140.93
Rubber	10.73	74.80	14.65	58.83	7.99	11.80	0.86	0.24	4.30	7078.64
Textile	36.74	55.40	7.86	44.46	6.41	33.25	2.06	0.01	4.59	4764.29
Others	46.56	39.04	14.40	38.33	5.18	28.07	1.52	0.03	4.35	4137.18

Table 3. Standard deviation of the results

Composition	Three Components (%, wet w/w)			Chemical Components (%, dry w/w)						High Heat-value (㎉/㎏)
	Water	Combustible	Ash	C	H	O	N	S	Cl	
Food	18.85	13.48	9.69	10.41	1.58	12.87	1.45	0.11	0.92	743.84
Paper	16.75	14.32	7.11	6.35	1.06	7.87	0.58	0.24	2.09	370.20
Wood	16.07	14.96	2.88	6.44	0.87	7.64	0.58	0.04	3.06	260.23
Plastics	15.30	14.93	11.98	14.01	2.92	10.92	0.48	0.17	2.39	1219.55
Rubber	15.81	18.97	12.91	13.36	2.59	11.36	1.10	0.38	3.69	2071.90
Textile	20.30	16.06	12.59	8.88	1.54	10.24	2.41	0.03	1.85	731.91
Others	21.97	14.23	15.15	12.13	1.93	9.39	0.91	0.11	1.82	864.00

Table 4. Coefficient of variation

Composition	Three Components (%, wet w/w)			Chemical Components (%, dry w/w)						High Heat-value (㎉/㎏)
	Water	Combustible	Ash	C	H	O	N	S	Cl	
Food	0.32	0.51	0.69	0.30	0.30	0.64	0.51	4.67	0.30	0.21
Paper	0.40	0.29	0.83	0.16	0.17	0.23	0.79	4.54	0.41	0.09
Wood	0.54	0.23	0.72	0.14	0.14	0.20	0.89	6.64	0.80	0.06
Plastics	0.59	0.24	0.93	0.26	0.35	0.67	0.60	7.55	0.46	0.17
Rubber	1.47	0.25	0.88	0.23	0.32	0.96	1.28	1.57	0.86	0.29
Textile	0.55	0.29	1.60	0.20	0.24	0.31	1.17	4.47	0.40	0.15
Others	0.47	0.36	1.05	0.32	0.37	0.33	0.60	3.69	0.42	0.21

Table 5. Mean value of the results in wet base

Composition	Chemical Components (%, wet w/w)						Low Heat-value (㎉/㎏-wet)
	C	H	O	N	S	Cl	
Food	9.26	1.40	5.30	0.75	0.01	0.81	1027.88
Paper	19.80	3.03	17.12	0.36	0.02	2.54	1879.34
Wood	30.13	4.15	25.63	0.44	0.01	2.55	2808.07
Plastics	32.67	5.12	10.02	0.49	0.01	3.18	4843.82
Rubber	44.00	5.98	8.83	0.64	0.18	3.22	5931.99
Textile	24.63	3.55	18.42	1.14	0.01	2.54	2601.69
Others	14.96	2.02	10.96	0.59	0.01	1.70	1822.35

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. 물리적 조성별 화학적 특성

채취한 폐기물 시료를 물리적 조성별로 분류한 후 그 중 가연성분에 대하여 삼성분, 화학적 조성, 발열량의 화학적 특성을 조사하였다. 물리적 조성에서는 대부분의 시료에 대하여 음식물, 종이류, 플라스틱류, 기타성분이 가연성 폐기물에 비교적 많이 포함되어 있고 섬유류, 목재류, 고무/가죽류 등은 상대적으로 작은 조성비를 갖는 것으로 조사되었다.

분석한 시료의 수는 특성과 물리적 조성에 따라 차이는 있으나 48-72개이었으며 물리적 조성에 따라 차이는 있지만 비교적 큰 범위의 결과를 나타냈다. 각 물리적 조성별 화학적 특성의 조사결과를 평균하여 Table 2에 나타내었다. 삼성분은 수분을 포함하고 있으므로 습기준의 결과라 할 수 있으며 화학적 조성 및 고위발열량은 건조된 시료에 대한 값으로 건기준의 결과를 나타낸 것이다.

삼성분의 경우, 음식물이 59.59%로 가장 많은 수분을 함유하고 있는 것으로 나타났으며 가연분은 고무/가죽류, 목재류, 플라스틱류 등에 비교적 많은 양이 포함되어 있는 것으로 분석되었다.

화학적 조성의 조사결과를 살펴보면, 가연분의 조성이 큰 고무/가죽류와 플라스틱류의 탄소나 수소함유율이 높은 값을 보이고 있으며 이에 따라 건기준 고위발열량에 있어서도 다른 물리적 조성보다 높은 7,000㎉/㎏ 이상의 결과를 나타내었다.

물리적 조성별 화학적 특성의 각 항목의 변동을 살펴보기 위하여 각각의 표준편차를 구하여 Table 3에 나타내었다. 수분의 경우에는 기타성분이, 가연분은 고무/가죽류가, 탄소성분은 플라스틱류가, 고위발열량은 고무/가죽류가 가장 큰 표준편차를 보이고 있으며 각 물리적 조성별 결과의 편차도 상당히 큰 값을 나타내고 있는 것을 볼 수 있었다.

Table 4에서는 화학적 특성의 각 항목의 변동계수를 보이고 있다. 변동계수는 표준편차를 평균으로 나누어준 값으로 데이터의 수치적

크기요소를 제외하고 그 편차의 크기를 비교하기 위한 것이다. 수분의 표준편차에서는 기타성분이 가장 큰 값을 나타내었으나 변동계수에서는 고무/가죽류의 값이 가장 커서 실제적인 편차의 폭은 고무/가죽류가 크다는 것을 알 수 있었다.

또한, 폐기물에 적은 양이 포함되어 있어 물리적 조성비가 작은 고무/가죽류, 섬유류 등은 다른 조성에 비해서 비교적 큰 변동계수를 보였으며, 여러 가지 성분이 혼합되어 있는 음식물이나 정확한 분류가 이루어지지 않는 기타성분의 경우는 가연분 조성비, 탄소성분비, 발열량 등의 결과에 있어서 비교적 변동이 큰 것으로 판단되었다.

한편, 황 성분의 경우에는 폐기물에 포함되어 있는 양이 적기 때문에 오차범위가 커서 변동계수의 값도 크게 나타난 것으로 생각되며 따라서 이를 대표적인 값으로 적용하기는 어려울 것으로 여겨진다.

2. 폐기물 특성 평가

앞에서 구한 폐기물의 물리적 조성별 화학적 조성 및 발열량은 건조시료에 대한 값이므로 실제 폐기물의 특성으로 구하기 위해 수분을 고려한 습기준의 값으로 계산하여 Table 5와 같은 결과를 얻었다.

화학적 조성에서는 가연분이 많고 그 중 탄소함량이 높게 조사되었던 고무/가죽류의 탄소가 44.00%로 가장 큰 값을 나타내었고, 플라스틱류와 목재류 등도 비교적 높은 탄소함량을 보이고 있다.

습기준 저위발열량에 있어서도 고무/가죽류의 경우가 5931.99㎉/㎏으로 가장 큰 값을 보여주고 있으며 수분이 가장 높게 나타난 음식물의 경우에는 가장 낮은 저위발열량을 나타내었다.

2.1 폐기물의 DOC

화학적 조성을 이용하여 매립지에서 발생하는 매립가스 발생량의 국가통계자료를 위하여 IPCC가 제안한 Default Method[5]의 생물분해가능한 유기탄소함량(DOC, Degradable Organic Carbon) 기초값과 비교하여 Table 6에 나타내었다. 종이류와 섬유류, 음식물에서는 비교적 큰 차이를 볼 수

Table 6. DOC value of major waste composition

Unit: %, w/w

Reference	Paper and textile	Garden & park waste and other (non-food) organic putrescibles	Food waste	Wood and straw waste
IPCC Default method	40	17	15	30
This study	19.80(P) 24.63(T)	14.91	9.26	30.13

* P and T mean paper and textile respectively.

있었으며 이는 높은 수분함량과 같은 국내 폐기물의 특성에 따른 것으로 판단된다. 목재류와 기타성분의 경우에는 비슷한 값을 보이고 있으나 폐기물의 물리적 조성에서는 음식물과 종이류가 차지하는 비율이 높기 때문에 IPCC에서 제시한 기초값을 그대로 사용할 경우에는 매립지 메탄발생량이 과대평가될 수 있는 가능성이 있을 것으로 여겨진다.

2.2 폐기물의 화학식

국내에서 발생하는 폐기물의 대표적인 화학적 특성을 나타내기 위하여 폐기물의 화학식을 구하였다[6]. 이를 위하여, 2000년도 국내 생활계폐기물 발생량[7]으로부터 물리적 조성을 구하였으며, 앞에서 구한 물리적 조성별 화학적 조성을 이용하였다.

화학적 조성 중 비교적 미량인 황과 염소를 제외한 성분으로 구성된 국내 생활계 폐기물의 화학식은,

$$C_{26.44}H_{46.31}O_{12.49}N \cdot 38.24H_2O$$

로 나타났다.

Ⅳ. 결 론

폐기물의 물리적 조성별 화학적 특성을 조사하여 삼성분, 화학적 조성, 발열량 등의 대표적인 평균값을 얻을 수 있었다. 그러나 폐기물에서 차지하는 비율이 작은 폐기물 조성이나 미량이 포함되어 있는 성분인 경우에는 상당히 큰 변동을 나타내고 있음을 볼 수 있었다.

국내 생활폐기물의 생물분해가능한 유기탄소함량을 구하여 국가온실가스 배출량을 위한 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Default Method에 제시된 값과 비교하여 본 결과, 음식물과 종이류에서는 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

폐기물의 화학적 특성을 종합적으로 나타낼 수 있는 화학식을 구하여,

$$C_{26.44}H_{46.31}O_{12.49}N \cdot 38.24H_2O$$

을 얻을 수 있었다.

사 사

본 연구의 시료채취 및 각 항목의 분석은 서울시립대학교 환경공학부 폐기물연구실에 의해 이루어졌음을 밝힙니다.

<참고문헌>

1. 강호, 최일엽, 김종원, 안종찬, 허형수, 종량제 실시 이후 일반폐기물의 조성 및 물리· 화학적 특성연구, 한국폐기물학회지, Vol.16, pp.1-9, 1999
2. 박종웅, 박상철, 권기홍, 음식물쓰레기 분리수거에 따른 주택 유형별 생활폐기물의 발생특성 - 경주시를 중심으로, 한국폐기물학회지, Vol.17, pp.166-176, 2000
3. 이승희, 민달기, 서울 서부지역 생활폐기물의 물리· 화학적 특성에 관한 연구,

한국폐기물학회지, Vol.17, pp.537-542, 2000
4. 우영국, 조은하, 영천시 생활쓰레기의 이· 화학적 특성조사, 환경관리학회지, Vol.6, pp.63-67, 2000
5. IPCC, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1997
6. Tchobanoglous, G. et. al., Integrated solid waste management, McGraw-Hill, 1993
7. 환경부, 2000 전국 폐기물 발생 및 처리 현황, 2001