



[2016-9-WE-010]

고형폐기물의 성분별 주요 원소 함량의 표준화와 에너지 함량 추정

정승미¹⁾ · 김용진^{2)*}

Standardization of the Major Elements and Estimation of Energy Contents by Municipal Solid Wastes

Seung-Mi Jeong¹⁾ · Yong-Jin Kim^{2)*}

Received 20 May 2016 Revised 20 June 2016 Accepted 14 July 2016

ABSTRACT In this study, after the chemical compositions of solid wastes reported in several papers, reports, etc. were collected and analysed, the representative values were derived. The average chemical compositions according to each component were compared with the representative values calculated by using the Monte Carlo method (Crystal ball, Oracle). To apply these representative values to energy content determination, the physical composition and proximate analysis fluctuated heavily according to the region and time are surveyed on-site, and the energy contents can be obtained easily using the standardized chemical composition obtained in this study. Therefore, the time-consuming and cost matters would be reduced in accordance with the repeated elemental analysis.

Key words Solid wastes(고형 폐기물), Physical components(물리적 성분), Chemical composition(화학적 조성), Energy content(에너지 함량)

1. 서론

현대에서 사람이 사는 곳에서 발생하는 도시고형폐기물의 처리·처분은 필수불가결한 사항이다. 우리나라의 경우, 서울과 같은 대도시에서부터 작은 농어촌 마을까지 전국에서 발생하는 고형폐기물은 1995년 종량제 시행과 더불어 종량제 규격 봉투를 사용하여 배출되고 있다. 이렇게 배출된 도시고형폐기물은 폐기물의 물리·화학·생물학적 특성을 고려한 적정 방법으로 처리·처분되고 있다. 폐기물의 물

리적 특성으로는 겉보기 밀도, 수분함량, 입자크기와 크기 분포, 현장수분 보유능력(field capacity)과 압축 폐기물의 공극률을 들 수 있고, 폐기물의 중간처리 및 자원화 공정을 평가하는데 중요한 화학적 특성으로는 4성분 또는 3성분(proximate analysis), 재의 용점, 주요 원소분석(ultimate or element analysis)과 에너지 함량(발열량)이 있으며, 퇴비화 같은 자원화 공정 평가에 중요한 생물학적 특성으로는 생분해성 등을 들 수 있다.^[1] 이 중 화학적 특성은 연소에 의한 열회수 공정에서 열 및 물질 수지, 시설의 안전성 평가에 매우 중요한 인자이다. 도시고형폐기물의 원소는 전형적으로 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N), 황(S), 회분에 대한 비율을 결정하는 것이며, 연소 도중에 염소화합물이 배출되기 때문에 할로겐 물질도 원소분석에 포함시키기도 한다.^[2] 특히 염소 성분은 유기염소계 화합물인 PVC

1) Depart. Energy and Environmental System Engineering, Graduate School, The University of Seoul

2) Depart. Environmental Engineering and Biotechnology, Mokpo National Maritime University E-mail: yjkim@mmu.ac.kr
Tel: +82-61-240-7315 Fax: +82-61-240-7321

등의 폐기물을 소각처리 할 경우, 배기가스 중에 다량의 염화수소(HCl)의 형태로 배출되며, 이로 인해서 소각로 및 사이클론의 금속 재질 등이 쉽게 부식되고, 기타 기계설비 공정에도 영향을 미치게 되어 소각로의 수명단축 뿐만 아니라 운영경비도 증가하게 된다.^[3]

열 수지 평가에 활용되는 에너지 함량은 원소분석 결과와도 매우 밀접한 관련을 갖고 있다. 원소분석 결과를 이용하여 계산된 에너지 함량은 실측값과 큰 차이를 보이지는 않기 때문에, 실측 에너지 함량 자료가 없는 경우 쓰레기의 대략적인 에너지 함량을 결정할 수 있다.^[4-5] 원소분석 결과를 이용한 에너지 함량 평가에서, 일반적으로 화석연료에 이용되는 듀롱 식(Dulong formula)에 의해 얻은 열량은 실측값에 비해 낮고, 폐기물에 대해서는 스투어(Steuer) 식이나 쉴러-케스트너(Scheurer-Kestner) 식에 의한 결과가 좋으며, 그 중 스투어 식에 의한 결과가 가장 근접하다고 제시하고 있다.^[6]

우리나라에서는 1990년대 초반부터 서울 일부지역에서 대규모 소각시설이 건설되기 시작했다. 이런 소각시설의 설치를 위해 도시고형폐기물의 물리·화학적 특성 중 하나인 원소분석이 실시되었다. 그 중 하나가 1994년에 실시된 서울 강동구 대상 생활폐기물의 성상 조사로,^[7] 그로부터 20년 이상이 지났으며, 그 동안 많은 조사가 이루어졌을 것으로 보인다.^[2]

이에 본 연구에서는 우리나라에서 지금까지 보고된 여러 논문, 보고서 등에서 고형폐기물의 화학적 조성을 발췌·정리하여, 대푯값을 도출하고자 하였다. 도출된 대푯값을 이용하여 폐기물의 에너지 함량을 구한 후 열량계를 이용한 실측값과 비교하여, 도출한 대푯값의 적절성을 다시 한 번 확인하였다. 향후 신뢰성을 확보할 수 있는 정도의 자료의 축적으로 합리적인 화학적 조성의 대푯값을 구할 수 있다면, 반복적 원소 분석에 따른 시간적, 비용적인 문제를 완화시켜 줄 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구자료 및 방법

2.1 문헌분석

우리나라에서 발표된 보고서, 논문 등 문헌조사를 통해

고형폐기물의 성분별 원소분석 및 발열량 결과를 정리하였다. 자료 중, ‘강동 자원회수시설 건설 기본계획을 위한 폐기물 성상분석 업무 최종보고서’에서는 4계절 동안 강동구 15개소, 성동구 15개소에서 채취한 폐기물을 음식, 종이, 플라스틱, 섬유, 목재, 가죽·고무, 기타 가연으로 분류 후 원소분석을 실시하였다. 본 연구에서는 그 자료의 평균값을 이용하였다. 민달기 등은 원소분석을 실시한 곡류는 20 시료, 과일은 6 시료, 채소는 11 시료, 생선·육류는 13 시료(총 50 시료), 종이 20시료, 합성수지 15 시료, 목재 10 시료, 고무 3 시료, 가죽 3 시료, 그리고 섬유 9 시료로 밝히고 있다.^[8] ‘2001 전국폐기물통계조사’에서는 가정과 비가정 부문으로 구분하였으며, 가정을 다시 단독주택과 공동주택으로, 비가정은 시장상가, 교육, 음식점으로 구분하여 연평균 값을 정리·제시하고 있으며, 본 연구에서는 제시된 모든 자료를 정리·분석하였다.

2.2 몬테카를로 방법에 의한 대푯값 도출

문헌조사를 통해 얻은 각 성분별 원소분석의 평균값과 크리스탈 볼(Crystal ball, Oracle)을 이용하여 몬테카를로 방법(Monte Carlo Method)으로 구한 평균값을 대푯값으로 하여 비교하였다. 몬테카를로 방법은 입력변수 혹은 시스템의 확률적 특성으로 인하여 결과를 정확하게 예측할 수 없는 확률 모델에 수치적으로 일련의 난수(random number)를 반복적으로 발생시켜 해를 찾는다.^[9] 구현과정은 4단계로 구성된다. 첫째, 수학적 모델을 정의하고, 둘째, 각 입력 변수에 확률분포 함수를 부여(임의의 입력변수 생성)하며, 셋째, 입력변수 벡터를 모델에 넣어 출력변수를 계산하고, 둘째 및 셋째 과정을 N회 반복한다. 마지막으로 결과를 분석한다.^[10]

3. 결과 및 고찰

3.1 고형폐기물 성분별 탄소함량

정리된 자료에서 탄소함량 50% 이상인 성분과 50% 미만인 성분으로 구분하여 Fig. 1에 나타내었다. 탄소함량 50% 이상인 성분으로는 플라스틱류, 고무류, 섬유류, 가죽류가 있었으며, 50% 미만인 성분으로는 목재류, 음식물류, 종이

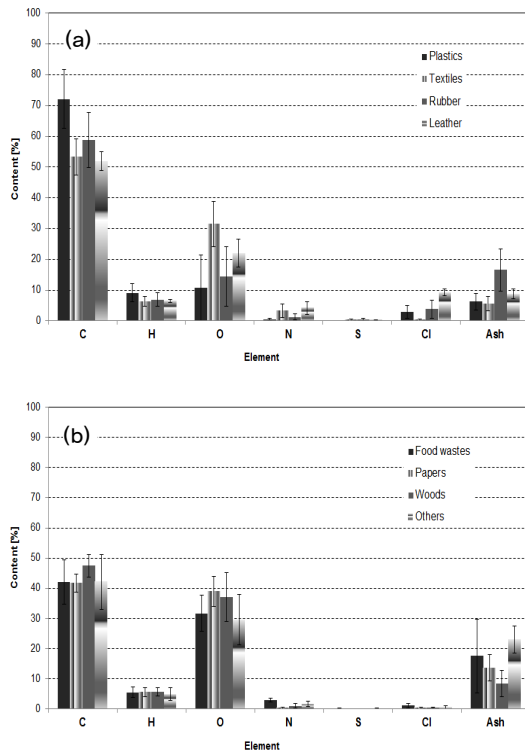


Fig. 1. Classification of components by carbon content (a) components above 50% of carbon content, (b) components below 50% of carbon content

류 등이 있었다. 고형폐기물 성분별 주요 원소 함량은 탄소, 산소, 수소 순으로 나타났으며, 탄소함량이 50% 미만인 성분들은 탄소와 산소 함량이 유사한 정도의 값을 보였다. 탄소함량 50% 이상인 성분은, 염소를 비교적 높은 농도로 함유하고 있으며 대부분 열량이 높은 성분들임을 알 수 있다. 또한 탄소함량 50% 미만인 성분들보다 회분함량이 상대적으로 낮음을 알 수 있었다. 탄소함량 50% 이상의 성분에는 연소성 분율(fraction)이 높아 발열량이 높게 나타났음을 의미하며, 따라서 상대적으로 비연소성 분율(회분)이 낮아진 것으로 사료된다.

3.2 고형폐기물 성분별 원소함량 대뿔값 산출

고형폐기물 성분별 원소함량의 대뿔값을 산출하기 위해 몬테카를로 방법을 이용하여 식 (1) 및 (2)와 같이 성분별 물 질량 $f(x)$ 을 예측하고 각 원소에 대한 함량을 백분율 (C_i)로 산출하였다(실행횟수 10,000회). 확률변수로는 x_C , x_H , x_O , x_N , x_S , x_{Cl} 로 각각 탄소, 수소, 산소, 질소, 황 및 염소의 물 비율을 확률분포에 의해 정의된 값을 사용하였으며,

범위는 각각 원소의 최소 및 최대 물 비율 값으로 하였다. 성분별 각 원소들의 물 비율은 문헌조사를 통해 얻은 원소 함량을 물 질량으로 전환하여 산출하였다.

$$f(x) = \sum_i M_i \times x_i \quad (1)$$

$$C_i(\%) = \frac{M_i \times x_i}{f(x)} \quad (2)$$

여기서,

$f(x)$: 고형 폐기물 조성 x 의 물 질량

i : 원소(C, H, O, N, S, Cl)

M_i : i 원소의 물 질량

x_i : 조성 x 의 i 원소의 몰수

C_i : 조성 x 의 i 성분의 함량, %

Table 1에 고형폐기물 중 음식물류, 종이류, 플라스틱류, 섬유류, 고무류 및 목재류에 대한 화학식 및 각 원소들의 몰수에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 크리스탈 볼에서 몬테카를로 방법을 통해 시뮬레이션을 하기 위해서는 최소 15개의 시료가 요구되나, 고형폐기물 성분 중 가죽류 등은 문헌조사를 통해 얻어진 데이터가 이 보다 적어 시뮬레이션을 실행할 수 없었다. 각 성분의 물 질량은 다른 원소들보다 몰수가 월등히 많은 탄소, 산소, 수소에 의한 민감도가 높았다. 성분별 예측된 물 질량은 종이류가 가장 컸으며 플라스틱류, 목재류, 고무류, 섬유류, 음식물류 순으로 낮아졌다. 탄소의 원자수는 플라스틱류가 가장 많았으며 종이류, 고무류, 목재류, 섬유류, 음식물류 순으로 나타났다. 산소의 몰수는 종이류가 가장 많았다. 염소의 경우 플라스틱류 및 고무류가 각각 2.11 및 2.04로 유효한 값을 나타냈다. 이와 같은 결과는 PVC를 포함시켜 플라스틱의 조성식을 구한 민달기 등의 연구에서도 확인할 수 있었다.^[8] 특히, 고무 표면의 매끄러움과 광택을 향상시키기 위한 염소 처리에 의해,^[11] 고무 중 염소 함량은 높을 수 있다. 고 염소함량의 쓰레기에서 열에너지를 회수하고자 하는 경우, 배기가스 중에 고 농도의 염화수소가 포함되어 연소로 및 사이클론의 금속 재질 등의 부식을 야기하며, 결과적으로 소각로의 수명단축 뿐만 아니라 운영경비도 증가하게

Table 1. Results according to Monte Carlo simulation (trial=10,000)

Items		Mole Ratio (N=1, Except H ₂ O)		Molecular Weight (g)	Molecular Formula
		5-95%	Mean		
Food wastes	C	13.29-23.62	17.53	420.42	C _{17.53} H _{27.51} O _{10.17} N
	H	14.48-40.53	27.51		
	O	6.11-15.95	10.17		
	S	0-0.05	0.02		
	Cl	0-0.33	0.13		
Papers	C	69.16-555.25	210.65	5,274.04	C _{210.65} H _{336.92} O _{148.77} N
	H	50.36-836.88	336.92		
	O	48.74-383.98	148.77		
	S	0-0.24	0.06		
	Cl	0-0.6	0.23		
Plastics	C	75.22-749.26	262.61	3,992.16	C _{262.61} H _{427.83} O _{19.8} Cl _{2.11} N
	H	53.55-1317.4	427.83		
	O	1.99-56.07	19.8		
	S	0-0.13	0.04		
	Cl	0-6.03	2.11		
Textiles	C	7.47-184.29	52.37	1,016.92	C _{52.37} H _{71.42} O _{18.69} N
	H	7.49-252.8	71.42		
	O	2.67-59.37	18.69		
	S	0-0.20	0.07		
	Cl	0-0.07	0.02		
Rubber	C	21.68-353.53	112.23	1,850.05	C _{112.23} H _{149.48} O _{16.17} Cl _{2.04} N
	H	12.21-427.88	149.48		
	O	1.11-50.26	16.17		
	S	0-0.63	0.2		
	Cl	0-6.57	2.04		
Woods	C	22.25-236.65	89.88	2,112.45	C _{89.88} H _{128.82} O _{55.19} N
	H	22.87-360.21	128.82		
	O	8.83-157.69	55.19		
	S	0-0.12	0.04		
	Cl	0-0.38	0.14		

된다.^[3] 또한 염소 성분은 유기염소계 오염물질의 구성분으로서 다이옥신류와 같은 오염물질의 생성 농도를 증가시키는 것으로 알려져 있기에 염소 함량에 대한 주의가 필요하다.^[12]

Table 2에는 시뮬레이션을 통해 얻어진 고형폐기물 성분별 각 원소의 함량을 백분율로 나타내었으며, 문헌조사를 통해 정리한 고형폐기물 성분별 원소분석 평균값과 비교하였다. 전술한 바와 같이 고형폐기물 성분별 주요 구성

원소는 탄소, 수소, 산소이며, 플라스틱류를 제외한 다른 조성에서는 탄소, 산소, 수소 순으로 함유되어 있는 것으로 나타났다. 음식물류, 종이류 및 목재류는 각각의 탄소, 수소, 산소의 함량이 유사한 정도의 값을 보였다. 음식물류 폐기물은 탄소와 산소가 약 89%를 차지하고 있으며 질소의 함량이 약 3%로 다른 조성과 비교하여 높은 것으로 나타났다. 종이류는 탄소와 산소의 함량이 각각 47.97 및 45.13%로 유사한 수준을 보이고 있으며, 두 원소가 전체의 93% 정

Table 2. Comparison of the determined averages (DA) and the simulated averages (SA, trial=10,000) by physical composition (Unit: %)

	C		H		O		N		S		Cl	
	DA	SA	DA	SA	DA	SA	DA	SA	DA	SA	DA	SA
Food wastes	51.50	50.08	6.74	6.62	38.82	38.70	3.52	3.33	0.18	0.15	1.14	1.10
Papers	48.10	47.97	6.42	6.44	45.82	45.13	0.41	0.27	0.06	0.04	0.30	0.16
Plastics	76.65	79.00	9.69	10.80	10.84	7.93	0.53	0.35	0.07	0.03	2.73	1.88
Textiles	56.40	61.86	6.67	7.08	33.29	29.40	3.44	1.38	0.27	0.21	0.25	0.08
Rubber	70.20	72.86	8.25	8.14	17.21	13.98	1.54	0.76	0.44	0.34	4.50	3.92
Woods	51.84	51.10	6.18	6.15	40.44	41.80	1.13	0.66	0.06	0.06	0.36	0.23

도를 차지하고 있다. 목재류는 탄소 및 산소가 각각 51.10 및 41.80%가 함유되어 있는 것으로 나타났다. 플라스틱류 및 고무류는 탄소의 함량이 전체의 70% 이상을 차지하고 있으며, 특히 플라스틱류는 79.00%로 다른 조성과 비교하여 월등히 높은 수준을 보였다. 황 성분은 거의 관찰되지 않았으며, 염소 성분은 고무류, 플라스틱류 및 음식물류 폐기물에서 비율은 낮으나 소량 검출되었다.

몬테카를로 시뮬레이션을 통해 도출된 고형폐기물 성분별 원소함량 대푯값과 문헌조사를 통해 얻어진 원소함량 평균값을 검토한 결과, 음식물류 폐기물, 종이류, 목재류의 문헌조사에서 얻은 평균값은 시뮬레이션으로 구한 값의 5% 오차 범위 안에 있는 것으로 나타났다. 시뮬레이션으로 얻은 대푯값의 5% 오차 범위를 벗어난 항목은 섬유류의 탄소와 산소, 플라스틱류의 수소 및 산소, 고무류의 산소가 이에 해당된다. 오차 범위를 벗어난 항목들의 원소분석 값을 살펴보면, 다른 원소와 비교하여 산소의 표준편차가 컸으며, 이 값의 영향으로 시뮬레이션 대푯값과의 차이를 보이는 것으로 판단된다.

산술평균은 극단적인 값(이상값)의 유무에 따라 대푯값으로의 신뢰성에 영향을 받는다. 고형폐기물 원소분석은 소량의 시료를 이용하기 때문에 시료의 균질여부 및 분석자 등에 의한 실험오차가 발생할 우려가 있다. 이러한 값들을 극단값으로 인정, 제거 후 통계 분석을 실시할 때는 고형폐기물의 성상이 과소(대)평가 될 가능성이 높다. 반면, 유효한 값으로 인정, 통계 분석에 이용하였을 때는 대푯값에 대한 신뢰성이 낮아질 수 있다. 본 연구에서는 조사된 넓은 범위의 실측값들을 모두 이용하여 산술 평균값을 구하였으며, 실측값의 최소-최대값 범위에서 난수를 이용하

여 시뮬레이션을 통해 고형폐기물의 화학식을 구하고, 이를 이용하여 원소분석의 함량을 산출하여, 각각의 값을 비교하였다. 실측값과 시뮬레이션 값 사이에 $y=1.02x-0.58$ ($R^2=0.996$)의 관계를 보이며, 매우 높은 상관성을 보이는 선형 회귀모형을 얻을 수 있었다. 이 결과로부터 실측값의 산술 평균값이 대푯값으로 유의하며, 시뮬레이션을 통해 도출된 고형폐기물 성분별 원소함량의 값은 대푯값으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 연구결과와 활용

Fig. 2에는 시뮬레이션을 통해 얻은 조성별 원소들의 대푯값(Table 2)을 이용하여 듀롱 식(Dulong Eq., 식 (3)), 쉴러-케스트너 식(Scheurer-Kestner Eq., 식 (4))과 스투어 식(Steuer Eq., 식 (5))으로 고위발열량을 산정하여 서로 비교하였다.^[13] 또한 ‘2. 연구재료 및 방법’에서 전술한 바와 같이, 민달기 등이 제시한 고형폐기물 7가지 성분

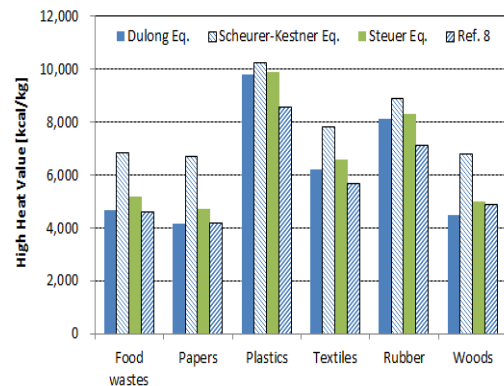


Fig. 2. Comparison of HHV using the representative values and HHV by bomb calorimeter shown in Ref.8. The plastics HHV by bomb calorimeter is that of resin

(총 110 시료)의 Bomb 실측값과도 비교하였다.^[8]

$$H_h(kcal/kg) = 81C + 342.5(H - \frac{1}{8}O) + 22.5S \quad (3)$$

$$H_h(kcal/kg) = 81(C - \frac{3}{8}O) + 342.5H + 22.5S + 57 \times \frac{3}{4}O \quad (4)$$

$$H_h(kcal/kg) = 81(C - \frac{3}{8}O) + 345(H - \frac{1}{16}O) + 25S + 57 \times \frac{3}{8}O \quad (5)$$

고위발열량은 플라스틱류에서 가장 높은 값을 보이고 있으며, 고무류, 섬유류 순으로 낮아졌다. 듀롱 식, 쉴러-케스트너 식과 스투어 식으로 계산한 결과를 보면, 쉴러-케스트너 식 > 스투어 식 > 듀롱 식 ≒ Bomb 실측값 순이었다. 이런 결과는 폐기물의 경우 스투어 식이 대체로 잘 맞는다^[6]는 일본의 결과와는 차이를 보이고 있었다.

가장 높은 추정값을 보이는 쉴러-케스트너 식의 결과를 제외하면, 음식물류 폐기물, 종이류, 목재류는 5,000kcal/kg 미만의 값을 보였다. 종이류의 경우 시뮬레이션에 의한 고위발열량과 기존 발표된 문헌의 값이 약 4,100kcal/kg로 거의 같은 수준을 보였다. 음식물류 폐기물 및 목재류는 각각 4,600-4,800kcal/kg 및 4,500-4,900kcal/kg로 고위발열량이 유사한 정도의 값을 갖는 것으로 나타났다. 플라스틱류, 섬유류 및 고무류의 고위발열량은 각 성분의 탄

소 함량이 높고 산소 함량은 낮아, 시뮬레이션을 통해 산정된 고위발열량이 실측값보다 더 높은 것으로 나타났다. 그러나 이렇게 듀롱 식에 의해 산출된 고위발열량과 민달기 등이 제시한 실측값^[8]과는 표준오차 범위에 포함되는 것으로 나타났다. 민달기 등은 동일 성분이라 하더라도 시료의 차이에서 기인하는 오차를 줄이기 위해서 음식물류 폐기물을 곡류(20 시료), 과일(6 시료), 채소(11 시료), 생선·육류(13 시료)로 세분하여 분석하였으며, 종이 20 시료, 합성수지 15 시료, 목재 10 시료, 고무 3 시료, 가죽 3 시료, 그리고 섬유 9 시료와 같이 다수의 동일 성분을 분석하여 그 결과를 제시하였기에^[8], 본 연구의 결과값과의 좋은 비교 대상이라고 사료된다.

지역별, 시기별 변동이 심한 물리적 성분비의 대푯값을 구하는 것은 매우 어려우며, 구한다 하더라도 변동이 심해 의미 없는 값이 된다. 그러나 비교적 변동폭이 적은 물리적 성분별 구성원소의 함량을 표준화해 놓음으로써 에너지 함량 등을 손쉽게, 경제적으로 결정할 수 있다. 즉, 변동이 심한 물리적 성분비와 각 성분의 3성분을 현장 조사에 의해 구하고, 표준화 된 각 성분의 C, H, O, N, S, Cl과 같은 원소함량을 듀롱 식, 스투어 식, 쉴러-케스트너 식 등에 대입해 에너지 함량을 구할 수 있다(Fig. 3).

4. 결론

본 연구에서는 우리나라에서 지금까지 보고된 여러 논

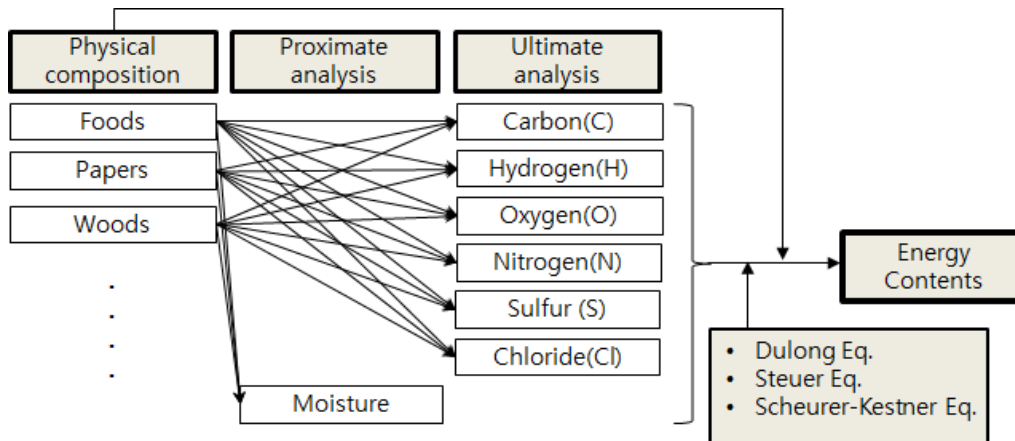


Fig. 3. Final purpose of this study. The representative values deduction for energy content estimation

문, 보고서 등에서 고형폐기물의 화학적 조성을 발췌·정리하여, 대뿔값을 도출하고자 하였다. 문헌조사를 통해 얻은 각 성분별 원소분석의 평균값과 크리스탈 볼(Crystal ball, Oracle)을 이용하여 몬테카를로 방법으로 구한 대뿔값을 구하여 비교하였다. 고형폐기물 성분별 주요 구성원소는 탄소, 수소, 산소이며, 플라스틱류를 제외한 다른 조성에서는 탄소, 산소, 수소 순으로 함유되어 있는 것으로 나타났다. 지역적, 시기별 변동이 심한 물리적 성분비와 각 성분의 3 성분을 현장 조사에 의해 구하고, 본 연구에서 구한 표준화된 각 성분의 C, H, O, N, S, Cl 함량을 듀롱 식, 스투어 식, 쉘러-케스트너 식 등에 대입해 손쉽게 에너지 함량을 구할 수 있다. 향후 자료의 추가 축적 및 정리로 화학적 조성의 대뿔값을 구한다면, 반복적 원소분석에 따른 시간적, 비용적인 문제를 저감시켜 줄 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 성과는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015R1C1A2A01054363).

References

- [1] Namkoong, W., Lee, D.H., 1998, "Integrated Solid Waste Management", Korean Ed., Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul, pp. 91-110.
- [2] Namkoong, W., Kim, J.D., In, B.H., Park, J.S., Lee, N.S., 1998, "An Evaluation on the elemental composition in combustible components of municipal solid waste generated in Korea", J. Korea Solid Wastes Engineering Society, 15(6), 678-684.
- [3] Jung, B., 2012, "A study on the utilization of Eschka Method for determination of chlorine content in MSW incineration ashes and coals, J. of Korea Society of Waste Management, 29(6), 534-541.
- [4] Namkoong, W., Lee, D.H., 1998, "Integrated Solid Waste Management", Korean Ed., Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul, p. 102.
- [5] Japan Waste Management Association & Japan Waste Research Foundation, 1999, "Manual for planning and design of Waste treatment facilities", pp. 143-145.
- [6] Japan Waste Management Association & Japan Waste Research Foundation, 1999, "Manual for planning and design of Waste treatment facilities", p. 145.
- [7] Report on the waste characterization for the basic planning of MRF, Kangdong, Seoul, 1994.10.
- [8] Min, D.K., Lee, H.S., Park, K.J., 2003, "A study on the evaluation of the element analysis and heating values of the municipal solid waste", J. Korean Society of Environmental Administration, 9(2), 147-153.
- [9] Seo, K.M., Song, H.S., 2013, "Importance sampling embedded experimental frame design for efficient Monte Carlo simulation", The J. of the Korea Contents Association, 13(4), 53-63.
- [10] Kim, H.J., 2011, "Uncertainty analysis for a calibration process of fringe projection profilometry by using Monte Carlo Method", Thesis of Master, School of Mechanical, Aerospace and System Engineering Division of Mechanical Engineering, KAIST.
- [11] Park, J.H., Lee, C.S., Park, H.H., 2010, "A study on the characteristics of IR/CR rubber blends by surface treatment with chlorine", Journal of the Korean Chemical Society, 54(6), 749-754.
- [12] Yasuhara, A., Katami, T., Okuda, T., Ohno, N., Shibamoto, T., 2001, "Formation of dioxins during the combustion of newspapers in the presence of sodium chloride and poly(vinyl chloride)", Environ. Sci. Technol., 35(7), 1373-1378.
- [13] Lee, S.W., Kim, S.J., Lee, M.R., 2006, "Guide book for engineer and industry engineer of waste treatment", Sungandang, 1-24.

REFERENCES FOR DATABASE

- Report on the waste characterization for the basic planning of MRF, Kangdong, Seoul, p.93 (1994.10).
- Report on the waste characterization for the basic planning of MRF, Kangdong, Seoul, p.109 (1994.10).
- Kim, N.C., Eom, M.S., Kim, S.H., 2009, "A study on the carbonization characteristics of food waste by temperature

- variation”, J. of the Korean Society for Environmental Analysis, 12(2), 74-80.
- Namkoong, W., Lee, D.H., 1998, “Integrated Solid Waste Management”, Korean Ed., Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul, p. 102.
- Min, D.K., Lee, H.S., Park, K.J., 2003, “A study on the evaluation of the element analysis and heating values of the municipal solid waste”, J. Korean Society of Environmental Administration, 9(2), 147-153.
- Japan Waste Management Association & Japan Waste Research Foundation, 1999, “Manual for planning and design of Waste treatment facilities”, pp. 143-145.
- Song, D.K., Kim, S.D., Jang, E.S., Park, J.H., Jung, J.S., Kong, S.H., 2003, “Physico-chemical characteristics of municipal solid wastes generated in the city of Chuncheon”, J. Korea Society of Waste Management, 20(8), 807-817.
- SL Corp., 2004. 10, “Report on the gas potential from waste”.
- Yoon, S.P., 2008, “Effect of shifts in food waste policy on the municipal solid waste composition”, J. of Korea Organic Resource Recycling Association, 16(1), pp. 39-45.
- Yi, J., Moon, D.H., Kim, J.W., 2000, “The composition and physicochemical characteristics of MSW treated in Sudokwon Landfill”, J. Korean Solid Wastes Engineering Society, 17(3), 363-369.
- Ministry of Environment, 2002, “2001 Nationwide survey on the waste statistics”.
- Ministry of Environment, 2007, “3rd (2006-2007) Nationwide survey on the waste statistics”, <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/091/023/002/178507.pdf>.
- Ministry of Environment, 2013, “4th (2011-2012) Nationwide survey on the waste statistics”, <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/091/018/005/5552489.pdf>.
- Ministry of Environment, 2015, “Environmental Statistics Portal (<http://stat.me.go.kr>)”.