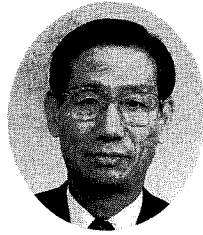


# 소각로 기본설계 및 선정방법

〈1〉



金炳彰

《주진도엔지니어링 부사장》

환경대기기술사

## 목 차

- I. 서 론
- II. 원단위 조사
  - 1. 발생량 조사
  - 2. 발열량 조사
  - 3. 공기량 및 가스량 산정
  - 4. 오염물질 예측
  - 5. 조내온도 산정
- III. 연소이론
- IV. 소각로 선정 요령
  - 1. 폐기물 대상 선정
  - 2. 가동시간 대상 선정
- V. 소각로 설계
  - 1. 유동층 소각로
  - 2. Stoker소각로
  - 3. 건류식 소각로
- VI. 방지시설
  - 1. Ventury Scrubber
  - 2. Packed Tower
  - 3. Bag Filter
- VII. 결 론

## I. 개론

1880년대 미국에서 청소차가 등장하면서 현대 폐기물처리가 시작되었다고 할 수 있다.

현재, 국내 산업폐기물은 환경처 보고에 따르면 '90년 현재 총산업폐기물 발생량 57,645톤/일 중 1,919톤(3.3%)만이 소각 처리되고 있다. 또한 산업폐기물 중 일부가 불법처리 또는 적정 처리 없이 그대로 방치되어 있는 실정으로서 이에 대한 대책이 요구되고 있다.

더욱이 폐기물불법처리의 경우 처리비용의 상승 등에 의한 부담도 있으나 적정처리기술 부족으로 인한 경우가 더 많아 폐기물적정처리 기술의 습득 및 이에 대한 설계 능력을 확보하는 것이 가장 큰 문제인 것으로 사료된다.

따라서, 관련분야에 적으나마 도움이 되고자 소각로의 기본적인 설계기술 및 선정방법에 대해 논의하고자 한다.

## II. 원단위 조사

### 1. 발생량 조사

소각로 설계에 있어 소각로 용량은 대상폐기물

에 좌우되므로 폐기물 발생량 조사는 정확성을 요한다. 또한 발생폐기물의 조사가 이루어 졌다 하더라도 소각로 투입방식에 따라 소각로 용량이 좌우되므로 이 분야에 대한 철저한 검토가 요구된다. 예를들어 폐기물 계획 평균처리량이 100T/D이고, 최대 월 변동계수가 1.2인 소각로의 용량은

$$* \text{계획처리량} = 100(T/D) \times 1.2 = 120T/D$$

#### A. 연속식 소각로의 경우

① 2기 설치시, 보수기간 동안은 1기만 가동해야 하므로 1기의 용량을 C(T/D)라 가정하면

$$C = \text{계획처리량} \times \text{월 변동계수} = \text{가동율} \\ = 100 \times 0.85 \div 0.96 = 89T/D$$

따라서 2기를 합한 용량은 178T/D로 계획처리량에 비해 너무 크다.

\* 월변동계수는 월간 1일 평균처리량을 연간 1일 평균처리량으로 나눈 값으로 여기서는 최소치를 2번째 되는 값으로 적용

\* 최대 월변동계수로 과거 5개년 이상의 실적에 의한 월 최대 변동계수를 기초로 하여 계획 목표 년도에 있어서의 계획 월 최대 변동 계수를 구한다.

\* 가동율은 연속식인 경우 96% 회분식인 경우 83%로 한다.

② 3기 설치도 마찬가지로 보수점검시 1기가 가동중지 함으로,

$$2C = 100 \times 0.88 \div 0.96 = 92 T/D$$

C = 46T/D (월변동계수는 최소치에서 3번째 값)

$$\text{따라서 총 소각용량은 } 46 \times 3 = 138T/D$$

③ 4기 설치시 월 변동계수도 최소치에서 4번째 값을 적용하면.

$$3C = 100 \times 0.9 \div 0.96 = 94T/D$$

$$C = 31T/D$$

따라서 총소각용량은  $31 \times 4 = 124T/D$ 가 된다.

이상의 방법을 고려하고 여기에 설치비 및 유지관리비 등을 고려하여 결정하여야 한다.

#### B. 회분식인 경우

고정화격자 회분 연소식이나 기계화 회분 연소식인 경우 시설계획은

$$120T/D \div 0.83 = 145T/D \text{가 되므로}$$

145T/D 1기, 73T/D 2기, 49T/D 3기의 경우를 고려할 수 있다.

## 2. 발열량 조사

쓰레기 처리시설의 원활한 유지관리, 최적의 소각 및 폐열이용을 극대화하기 위해 폐기물의 발열량을 정확히 알 필요가 있다. 즉 폐기물의 발열량은 소각시설의 규모 및 열회수 시설의 선택과 설계에 중요한 인자이다.

### 1) 열량계에 의한 방식

Bomb식 열량계로서 산소를 충전시킨 Bomb내에 폐기물을 넣어 완전연소시켜 그때 발생하는 연소열을 측정하는 장치이다. 그러나 측정시 사용하는 폐기물량이 수g(대략 1g내외)으로서 수 톤씩 발생하고 수 많은 종류가 섞인 폐기물에서 수g씩 채취하여 분석하고 결과치를 전적으로 신뢰하기는 문제점이 있어 가능한 한 많은 분석을 하여 그 평균치를 폐기물의 발열량으로 정하는 것이 타당할 것이다.

### 2) 원소조성에 의한 방식

#### 가. 실측치에 의한 방법.

이 방법은 원소분석기(Elemental Analyzer)에 의해 폐기물의 N, C, H, O, S를 분석하여 표 1과 같이 발열량을 산출한다.

그러나 이 분석기의 시료 채취 무게가 최대 3mg으로서 폐기물 특성상 단 한번의 실험으로 대표치로 정하는 것은 무리라 하겠다. 따라서 열량계와 마찬가지로 여러번 실험을 반복하여 원소 조성을 산정하여야 할 것이다.

#### 나. 분자식에 의한 방법

물질을 구성하고 있는 분자식을 기준으로 하여 계산식에 의해 원소조성을 구하는 방식이다. 예를들어, Phenol의 경우 Phenol의 분자식은  $C_6H_5OH$ 이다. 여기서 Phenol의 분자량은 94이므로

$$C : \frac{72}{94} \times 100 = 76.6 \text{ wt\%}$$

$$H : \frac{6}{94} \times 100 = 6.4 \text{ wt\%}$$

$$O : \frac{16}{94} \times 100 = 17.0 \text{ wt\%}$$

그러나 이 방식은 물질생산시 첨가된 부원료 및 기타 첨가제가 배제된 순수한 주원료만을 대상으로 원소조성을 산정함으로써 이 방식에 의한 원소조성의 신뢰성은 떨어지나 방법자체가 간단하고 편리하여 널리 사용된다. 이방법의 다소간의 오차를 줄이기 위해서는 먼저 실험실에서 간단히 측정할 수 있는 폐기물의 Ash분석을 하여 2차만큼 각각의 원소함량을 비례적으로 보정하여 준다.

### 3) 3성분 분석식에 의한 방법

폐기물은 가연분, 불연분(회분) 및 수분의 3성분으로 나눌 수 있다. 이 3성분에 대한 각각의 함량으로 부터 폐기물의 발열량을 구하는 방법이다. 이 방법은 일본에서 각 지역으로 부터 발생되는 도시폐기물의 특성에 맞게 각각 제안되었다.

표 1. 폐기물 발열량 제안식

	제안자	제안식	비고
성분	·厚生省	4500V-600W	V: 생쓰레기중 가연분(kg/kg) 건조기준 W: 생쓰레기중 수분함량(kg/kg) α: 가연분저발열량의 연간 Bomb 값의 평균치-4500kcal/kg
	·横浜市	4591V-600W	
	·廢工研	4800V-600W	
	·東京都	αV-600W	
	·本多	4475V-585W+21.2	
물리	·日環	6185V-468.8	
	·都立大	8000Pi+4100(Pa+G)-600W	Pi: 플라스틱 함유량
	·小林	8820Pi+4050(Pa+G)-600W	Pa: 종이 함유량
조성	·日環	370Pi+180Pa-380G-480W+1530	G: 진개 함유량
	·상기보정식	13 × [(Pi+Pa)/W]	
원소	·Dulong	8100C+34250(H- $\frac{O}{8}$ )+2250S-600(9H+W)	
	·Steuer	8100(C- $\frac{3}{8}O$ )+5700( $\frac{3}{8}O$ )+34500(H- $\frac{1}{2}$ · $\frac{O}{8}$ )+2500S-600(9H+W)	
	·Kunle	8100C+3400(H-O+ $\frac{N}{8}$ )+2250S-600(9H+W)	
	·Mahler	8140C+34500H-3000(O+N)	
	·Gumz	8130C+29700H+1500N+4560S-2350O-600(pH+W)	

### 4) 물리적 조성에 의한 방법

폐기물중 플라스틱의 함유량(Pi)과 종이 함유량(Pa) 및 진개 함유량으로 구분하여 분석에 의해 구한 각각의 함유량에 각 발열량을 곱해 그합을 폐기물의 발열량으로 추산하는 방법이다.

## 3. 공기량 및 가스량 산정

### 1) 이론 공기량

폐기물 중 가연분을 완전연소시키기 위해 이론적으로 필요한 공기량을 이론공기량이라 한다. 이론 공기량의 산출은

○ 원소조성에 의한 방법.

○ 발열량에 의한 방법

○ 셀룰로오스 치환법 등이 있다.

가. 원소조성에 의한 방법

폐기물의 원소조성을 알고있는 경우 단위 폐기물당 필요한 공기량을 화학 양론적으로 구한다.

○ 고체·액체연료의 이론 공기량(Ao, Sm<sup>3</sup>/kg)

$$A_o = \frac{1}{0.21} \left\{ \frac{22.4}{12} C + \frac{11.2}{2} \left( H - \frac{O}{8} \right) + \frac{22.4}{32} S \right\}$$

$$= \frac{1}{0.21} \left\{ 1.867C + 5.6 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 0.7S \right\}$$

$$= 8.89C + 26.7 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 3.33S$$

○ 기체 연료의 이론공기량(Ao, Sm<sup>3</sup>/Sm<sup>3</sup>)

$$A_o = \frac{1}{0.21} \left\{ 0.5H_2 + 0.5CO + 2CH_4 + \dots \right.$$

$$\left. \dots + \left( x + \frac{y}{4} \right) C_xH_y - O_2 \right\}$$

식중(H- $\frac{O}{8}$ )은 폐기물 중의 산소가 결합수(水)의 상태에 있어 결합수의 수소분은 연소에 이용할 수 없는 것으로 간주, 전체 수소에서 결합수와 수소를 제외한 것으로 유효수소라 부른다.

나. 발열량에 의한 방법

이론공기량은 폐기물의 발열량에 비례한다. 따라서 폐기물의 발열량을 이용하여 연소에 필요

한 이론공기량을 구한다.

· Rosin 제안

$$\text{—고체연료} : L_o = \frac{1.01Hu}{1000} + 0.5$$

$$\text{—액체연료} : L_o = \frac{0.85Hu}{1000} + 2.0$$

$$\text{—기체연료} : L_o = \frac{1.09Hu}{100} - 0.25$$

Hu : 저위발열량(Kcal / kg)

· Boie 제안

$$\text{—고체연료} : L_o = 1.01 \frac{Hu + 550}{1000}$$

$$\text{—액체연료} : L_o = 12.38 \frac{Hu - 1100}{10,000}$$

다. 셀룰로오스 치환법

폐기물중 가연분을 셀룰로오스(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)로 간주하여 이론 공기량을 계산한다.

$$L_o = \alpha \times 3.95 \times \frac{B}{100}$$

여기서 α: 폐기물의 성상에 따른 보정계수로서 통산 1.15~1.5 정도인데 폐기물중 플라스틱 함유량에 따라 변한다.

B : 쓰레기중의 가연분 백분율(wt%)

2) 가스량 산정

소요공기량을 폐기물 연소에 공급하므로써 폐기물을 완전연소시키면 폐기물량 가연분이 연소하여 연소열을 내고 연소가스가 발생하며 연소반응에서는 반응전과 반응후의 체적이 변화 한다.

가. 원소조성에 의한 방법

$$GW = (m - 4.21)Ao + 1.867C + 11.2H + 0.7S + 0.8N + 1.244W$$

$$Gd = Gw - (11.2H + 1.244w)$$

$$= Gw - 1.244(9H + w)$$

여기서 Gw : 습배기 가스량(Sm<sup>3</sup> / kg)

Gd : 건배기 가스량( " )

나. 발열량에 의한 방법

$$\text{○고체연료} : G_o = \frac{0.89}{1000} Hu + 1.65$$

$$\text{○액체연료} : G_o = \frac{1.11}{1000} Hu$$

$$\text{○기체연료} : G_o = \frac{0.725}{1000} Hu + 1.0 (Hu = 500$$

~3000kcal / kg)

#### 4. 오염물질 예측

폐기물 연소시 불연소물 및 유해가스 발생은 필연적이라 할 수 있다.

또한, 오염물질 예측에 의해 방지시설 설계 효율 등이 결정되므로 방지시설 예측은 매우 중요한 사항은 재론의 여지가 없다 하겠다.

오염물질 예측을 위해서는 주로 배출계수(Emission factor)를 사용하나 폐기물 소각로에 대해서는 형식, 용량 등에 따라 국내실정에 맞는 배출계수가 산정되어 있지 않은 상태이다.

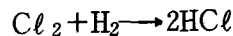
따라서 현재는 주로 표 2와 같이 미국 EPA 자료를 이용하고 있다. 그러나 오염물질 특히 유해가스는 폐기물의 종류에 따라 상당한 차이를 보이고 있으므로 별도 계산이 필요하다.

만일 폐기물에 PVC가 다량 포함될시에는 HCl 발생을 별도로 고려하여야 할 것이다.

예를 들어, 연소가스량이 10,000m<sup>3</sup> / hr, PVC 10kg / hr이 포함된 폐기물을 소각시킬 경우에는

$$10 \times \frac{35.5}{62.5} = 5.68 \text{ kg / hr (Cl)}$$

HCl의 생성 반응을



$$(2 \times 35.5) \quad (2 \times 1) \quad (2 \times 36.5)$$

따라서 HCl 발생량은

$$\frac{5.68 \times 36.5}{35.5} = 5.84 \text{ kg / hr}$$

$$\text{HCl 농도} = \frac{5.84 \times 10^6 \text{ mg / hr}}{10,000 \text{ m}^3 \text{ / hr}}$$

$$= 584 \text{ mg / m}^3$$

$$= 358 \text{ ppm}$$

과 같이 계산하여 오염물질을 예측하여야 할 것이다.

표 2. EMISSION FACTORS FOR REFUSE INCINERATORS WITHOUT CONTROLS EMISSION FACTOR RATING:A

Incinerator type	Particulates		sulfur oxides <sup>b</sup>		Carbon monoxide		Organics <sup>e</sup>		Nitrogen oxides <sup>d</sup>	
	lb/ton	kg/MT	lb/ton	kg/MT	lb/ton	kg/MT	lb/ton	kg/MT	lb/ton	kg/MT
<b>Municipal<sup>a</sup></b>										
Multiple chamber, uncontrolled	30	15	2.5	1.25	35	17.5	1.5	0.75	3	1.5
With settling chamber and water spray system <sup>f</sup>	14	7	2.5	1.25	35	17.5	1.5	0.75	3	1.5
<b>Industrial/commercial</b>										
Multiple chamber <sup>g</sup>	7	3.5	2.5 <sup>h</sup>	1.25	10	5	3	1.5	3	1.5
Single chamber <sup>f</sup>	15	7.5	2.5 <sup>h</sup>	1.25	20	10	15	7.5	2	1
Trench <sup>f</sup>										
Wood	13	6.5	0.1 <sup>k</sup>	0.05	NA <sup>l</sup>	NA	NA	NA	4	2
Rubber tires	138	69	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Municipal refuse	37	18.5	2.5 <sup>h</sup>	1.25	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Controlled air <sup>m</sup>	1.4	0.7	1.5	0.75	Neg	Neg	Neg	Neg	10	5
Flue-fed single chamber <sup>n</sup>	30	15	0.5	0.25	20	10	15	7.5	3	1.5
Flue-fed [modified] <sup>oo</sup>	6	3	0.5	0.25	10	5	3	1.5	10	5
<b>Domestic single chamber</b>										
Without primary burner <sup>p</sup>	35	17.5	0.5	0.25	300	150	100	50	1	0.5
With primary burner <sup>f</sup>	7	3.5	0.5	0.25	Neg	Neg	2	1	2	1
Pathological <sup>q</sup>	8	4	Neg	Neg	Neg	Neg	Neg	Neg	3	1.5

<sup>a</sup> Average factors given based on EPA procedures for incinerator stack

<sup>l</sup> Reference 7.

testing

<sup>k</sup> Based on data for wood combustion in conical burners.

<sup>b</sup> Expressed as sulfur dioxide.

<sup>l</sup> plot available.

<sup>c</sup> Expressed as methane.

<sup>m</sup> Reference 9.

<sup>d</sup> Expressed as nitrogen dioxide.

<sup>p</sup> References 3, 10, 11, 13, 15, and 16.

<sup>e</sup> References 5 and 8 through 24.

<sup>o</sup> with afterburners and draft controls.

<sup>f</sup> Most municipal incinerators are equipped with at least this much control; see Table 2.1.2 for appropriate efficiencies for other controls.

<sup>p</sup> References 3, 11, and 15.

<sup>g</sup> References 3,5,10,13,and 15.

<sup>q</sup> References 5 and 10.

<sup>h</sup> Based on municipal incinerator data. <sup>i</sup> References 3, 5, 10, and 15.

<sup>r</sup> Reference 5.

<sup>s</sup> References 3 and 9.

5. 조내온도 산정

입열 = 출열

1) 입열 = Q<sub>1</sub> + Q<sub>2</sub> + Q<sub>3</sub>

Q<sub>1</sub>(폐기물 보유현열) = C<sub>pr</sub>tr

Q<sub>2</sub>(폐기물 저 발열량)

Q<sub>3</sub>(연소용 공기 보유열량) = A · C<sub>pa</sub>ta

여기서 C<sub>pr</sub> : 폐기물 비열(kcal / m<sup>3</sup>·°C)

ta : 폐기물 온도(°C)

A : 연소용 공기(m<sup>3</sup> / kg)

C<sub>pa</sub> : 공기의 비열(kcal / m<sup>3</sup> · °C)

2) 출열 = Q<sub>A</sub> + Q<sub>B</sub> + Q<sub>C</sub> + Q<sub>D</sub>

Q<sub>A</sub>(연소가스에 의한 지출열량) = G · C<sub>pg</sub>tg

Q<sub>B</sub>(폐기물 착화온도까지의 승온열량) = C<sub>p</sub> · tgw

Q<sub>C</sub>(로벽을 통한 방사손실) = 입열의 5%로 추정

Q<sub>D</sub>(미연소 및 잔재회분이 가지는 열손실 : 폐기물 저위 발열량의 10%로 추정

\*FBC 소각로인 경우 Q<sub>4</sub>는 무시한다.

여기서 G : 연소가스량(m<sup>3</sup> / kg)

C<sub>pg</sub> : 연소가스비열(kcal / m<sup>3</sup> · °C)

tg : 연소가스온도(°C)

C<sub>p</sub> : 0~t<sup>o</sup>C까지의 폐기물 비열(kcal / kg·°C)

tgw : 폐기물 착화온도

조내 가스온도는 C<sub>pg</sub>와 tg를 시행착오로 하여 tg를 산정한다.

(다음호에 계속)

wtgw

상담 및 문의전화 711-4040