

都市廢棄物燒却施設을爲한 成分解析

Composition analysis for municipal solid waste Incineration

한국종합기술개발공사 환경부 이사 李 金 洙*

I. 序 論

廢棄物은 人間의 生活 및 經濟社會活動의 副 産物인 所産이며, 國民生活의 向上 및 産業 社會의 變化에 따라서 量的으로 質的으로 變動을 하게 되는 것이다.

폐기물처리는 公衆위생의 向上 및 生活環境의 保全을 위한 切實의 要件이며, 社會유지 발전의 不可缺한 要件으로 나날히 그 重要性은 높아지고 있는 實情에 있다.

또한 近年에 와서는 폐기물의 量的增大 및 質的 多樣化 및 國民의 쾌적한 환경에 必要에 의하여 그 處理문제는 점점 複雜化되고 困難한 問題로 擡頭되고 있다. 더욱이 國民生活의 向上에 따라 쓰레기는 住民으로부터 혐오감을 이르게 埋立에 많은 어려움을 더해가고 있으며, 쓰레기는 시·읍 責任下에 收集運搬處理되도록 〇물 청 소법 제 9 조에 규정함으로서 地方自治團體에 國民의 高민꺼리로 등장하게 되었다. 이와 같이 時代要請에 副應하여 우리 環境技術人들은 이 處理에 힘을 기우리지 않으면 안 될 時期가 到來하였음을 직감하고 技術人의 責任을 다 하여야 함을 강조하여야겠으며, 쓰레기의 적정 처리에 필요한 기초자료로서 成分分析에 對한 解析을 소개하고자 한다.

II. 中間處理施設에 必然性

쓰레기 처리의 基本은 排出된 쓰레기를 될 수 있는 限 資源化하고 再利用을 行한 後 衛生的인 狀態로서 處理處分하는 것이 重要하다. 一般적으로 우리나라 全域에서 行하여지고 있는 쓰레기 處理는 單只 저습지 또는 낮은 지역에 埋立하는 방식에 의하여 處理되고 있음으로 점점 埋立地의 確保가 困難하게 됨을 생각한다면 可能한 減容化하는 것이 必要하게 되었다.

그 하나로서 생각할 수 있는 것이 소각처리인바, 소각처리는 各種 處理方法中 最大의 減容化를 도모하는 處理方法인 同時에 부패성 有機物의 安定化도 達成할 수가 있다.

그런 故로 一적반으로 可燃性 쓰레기는 될 수 있는 限 全量燒却 처리 後, 最終적으로 埋立하는 것이 基本으로 되어 가고 있다. 現在 우리나라에서도 이것을 위하여 〇정부에서는 70억 원을 들여 소각설비가 建設되어 시험가동 중에 있으며, 城南市와 大邱에서도 來년에 建設할 목표로 事業을 進行中인 事實을 감안할 때 쓰레기의 成分에 對한 認識이 必要하게 되었다. 勿論 全量소각이라고는 하나, 일부 지역 여건을 고려하여 衛生매립 方法에 依하여 處分될 수도 있겠으나 이것은 어디까지나 減容化라는 問題에는 到達하기 〇려우며 언젠가는 소각方法에 依하지 않을 수 없게 됨으로 이제부터라도 우리 國民은

* 環境技術士(大氣管理)

에너지절약, 資源 절약이라는 大命題 앞에 서지 않으면 안될 것이다. 따라서 우리 技術人은 앞으로는 都市計劃과 같이 쓰레기 처리 計劃이 필연적으로 온다는 것을 念頭에 두고 쓰레기의 成分을 理解하여야겠다고 強調하는 바이다.

그러함으로서 쓰레기 處分計劃은 그 都市의 財政事情 및 地域의 特性을 고려하여 合理的인 基本計劃을 수립하는 데 있을 것이다.

Ⅲ. 成分解析

前節에서 쓰레기 減容化에 最上의 方策으로의 하나가 소각에 있다고 하였으며, 이 減容化方式인 소각方法의 施設의 成敗를 가름하는 設計計劃을 할 때에는 제일 먼저 設計條件으로서 쓰레기의 量과 質에 決定이 必要하게 될 것이나 이 決定에는 計劃地域에서 定期的으로 分析한 쓰레기 分析值를 參考로 하고 現地에서 發生하는 쓰레기의 質과 量을 調査하여 決定하게 된다. 또한 이 施設은 耐用年數를 考慮한 計劃的인 處理方式을 擇하기 위하여 豫測을 하여 規模를 決定하고 또 耐用年度까지의 住民의 生活狀態의 變化도 고려 豫測하여 定하였기 때문에 매우 어려운 문제이다. 여기서는 폐기물처리 시설을 위한 구조지침에 明記되어 있는 쓰레기의 質의 한 예를 들어 解析하여 얻는 一般式을 紹介하고자 한다.

쓰레기의 單位重量當의 燃燒熱量(kcal/kg)을 定하는 것에 의하여

- 1) 쓰레기 三成分構成比率에 依한 算定(水分, 灰分, 可燃分)
- 2) 可燃分中の 有機物量의 算定(C.H.N.S.O.)
- 3) 理論空氣量의 算定
- 4) 廢가스量의 算定

上記 各 項目을 決定하기 위한 式은 매우 복잡하지만 이에 對한 算定에 對한 方式과 例를 들면 表 1. 圖 1. 圖 2. 表 2와 같으며, 이 오차의 범위를 最小로 줄이는 最少自乘法을 이용하여 式을 유도하여 推算하기로 한다.

1. 最少自乘法

過去의 data 量에 依하여 將來를 豫測하는 方

法으로는 各種 分析法이 있지만 特히 一次直線으로서 近似시키는 方法이 제일 簡單한 것으로 많이 利用되고 있다.

이 方法은 計算한 一次式($a+bx$)과 實測值와 的 誤差의 自乘의 和을 最少로 하는 1次傾向線의 位置와 기울기를 決定하는 方法이다.

人口의 推計 또는 1人當쓰레기의 排出量의 推計等에 利用되고 있으며, 本來 이 方式은 觀測值의 範圍內에서의 值의 推計의 使用하는 補間法으로서 利用할 수 있는 것이었으므로 그 使用例를 利用하였다. 그러나 一般으로 未來의 豫測法으로서 一次式을 使用하여 最少自乘法을 使用하는 것은

가. 計算이 간단하고

나. 結果의 精度가 좋다는 등의 理由에 依한다

$$y=a+bx \dots\dots\dots(1)$$

$$e_i=Y_i-(a+bx_i) \dots\dots\dots(2)$$

$$\sum_{i=1}^n e_i^2=e_1^2+e_2^2+\dots+e_n^2 \dots\dots\dots(3)$$

먼저 求하는 式을 (1)로 한다.

오차는 (2)式과 같이 表示된다. 오차의 자승의 和를 (3)式과 같이 表示할 수 있고, 그 值의 最小值를 求하면 된다. 그림 1에서 最少自乘法의 原理를 表하였다.

$$\sum_{i=1}^n e_i^2=\sum_{i=1}^n (Y_i-(a+bx_i))^2 \dots\dots\dots(4)$$

(4)式으로 $\sum_{i=1}^n e_i^2$ 을 最少로 하는 a, b 를 求하게 된다.

$$\frac{\partial(\sum e_i^2)}{\partial a}=0 \dots\dots\dots(5)$$

에 依하여

$$\sum_{i=1}^n Y_i=n a+b \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots(6)$$

같은 方法으로 b 를 偏微分하여

$$\frac{\partial(\sum e_i^2)}{\partial b}=0 \dots\dots\dots(7)$$

에 依하여

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i=a \sum_{i=1}^n x_i+b \sum_{i=1}^n x_i^2 \dots\dots\dots(8)$$

但,

$\sum_{i=1}^n y_i$; 各燃燒熱量에 있어서의 成分의 總和

$\sum_{i=1}^n x_i$; 燃燒熱量의 總和(처음 data 를 기준치

로 한다.

表 1. 쓰레기 성분표

연소열량(kcal/kg)		900	1000	1500	2000	2500	3000	비	고
수 분(kg)		0.631	0.606	0.483	0.360	0.237	0.114		
회 분(kg)		0.086	0.092	0.120	0.149	0.177	0.206		
가 연 분(kg)		0.283		0.397	0.491	0.585	0.680		
탄 소(kg)		0.137	0.146	0.192	0.238	0.283	0.329		
수 소(kg)		0.019	0.021	0.027	0.033	0.040	0.046		
산 소(kg)		0.122	0.130	0.172	0.212	0.253	0.294		
질 소(kg)		0.004	0.005	0.006	0.007	0.009	0.010		
유 황(kg)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001		

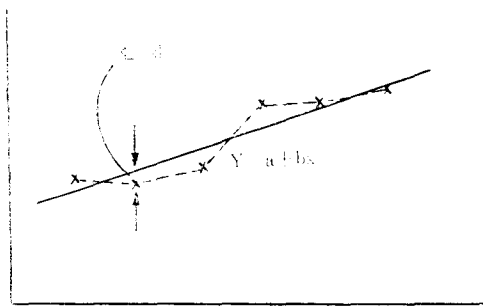


그림 1. 최소자승법

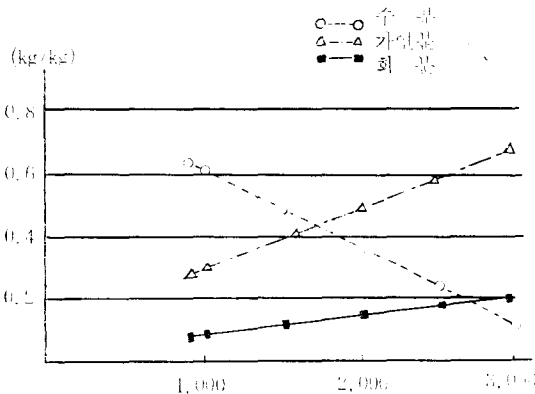


그림 2. 쓰레기 연소열량과 3성분

$\sum_{i=1}^n x_i y_i$; 各燃燒熱量에 對應하는 成分의 相乘積의 총화

$\sum_{i=1}^n x_i^2$; 各燃燒熱量的 自乘數의 總和

表 2의 計算例에 依한 係數 a, b 를 算出하여 一次式으로 表示하면 다음과 같이 된다.

$$y = 0.8523 - 2.4610 \times 10^{-3} x \dots\dots\dots(9)$$

2. 쓰레기 成分과 燃燒熱量과의 關係式

쓰레기 成分의 水分 灰分 可燃分과 燃燒熱量과의 關係式은 最少自乘法에 依하여 計算하면 아래와 같이 表示된다.

1) 水分

$$y_w = 0.8523 - 2.4610 \times x \times 10^{-4} \dots\dots\dots(10)$$

2) 灰分

$$y_a = 0.03474 + 5.7026 \times x \times 10^{-4} \dots\dots\dots(11)$$

3) 可燃分

$$y_{kn} = 0.1132 + 1.8888 \times x \times 10^{-4} \dots\dots\dots(12)$$

但, x 를 燃燒熱量으로 하였다.

그림 2의 graph에서 보는 바와 같이 直線式으로서 近似하게 되어진다. 表 3의 可燃成分의 成分의 計算値와 指針値의 差를 表示하였다.

3. 可燃分中の 元素量과 燃燒熱量과의 關係式

上述한 바와 같이 解析法으로 各元素에 對하여 施行하여 보면

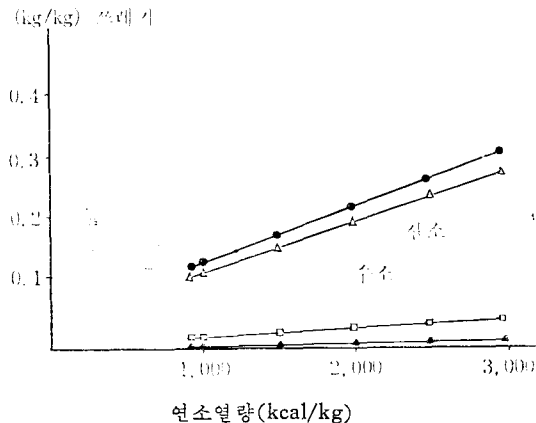


그림 3. 연소열량과 성분

表 2. 연소열량과 수분량의 관계식의 계산예

연소열량	X	지 침 치 Y	X*Y	X ²	계 산 치 Y _i	오 차 Y _i -Y	
900	0	0.631	0.0	0	0.6308	-0.0002	
1000	100	0.606	60.6	10000	0.6062	0.0002	
1500	600	0.483	289.8	360000	0.4831	0.0001	
2000	1100	0.630	396.0	1210000	0.3600	0.0000	
2500	1600	0.237	279.2	2560000	0.2370	0.0000	
3000	2100	0.114	239.4	4410000	0.1139	-0.0001	
합 계	n 6	Σ(X) 5500	Σ(Y) 2.431	Σ(X*Y) 1365	Σ(X ²) 8550000	Σ(Y _i) 2.431	Σ(Y _i -Y) 0

表 3. 계산치와 지침치와의 차(가연분)

연소열량	지침치	계산치	오 차	비 고
1000	0.302	0.3021	0.0001	
1500	0.397	0.3965	0.0005	
2000	0.491	0.4910	0.0000	
2500	0.585	0.5854	0.0004	
3000	0.680	0.6798	0.0002	

表 4. 계산치와 지침치와의 차(탄소)

연소열량	지침치	계산치	오 차	비 고
1000	0.146	0.1462	0.0002	
1500	0.192	0.1919	0.0001	
2000	0.238	0.2376	0.0004	
2500	0.283	0.2833	0.0003	
3000	0.329	0.3290	0.0000	

表 5. 필요공기량

저 발 열 량	L 지침치	L 계산치	λ 지침치	λ 계산치	직선식 계산치
1000	1.425	1.414	1.71	1.738	1.798
1500	1.854	1.855	2.47	2.400	2.260
2000	2.289	2.299	2.94	2.869	2.727
2500	2.743	2.737	3.23	3.233	3.190
3000	3.175	3.177	3.46	3.531	3.656

1) 炭 素

$$y_c = 0.05476 + 9.1415 \times x \times 10^{-5} \dots\dots\dots(13)$$

2) 水 素

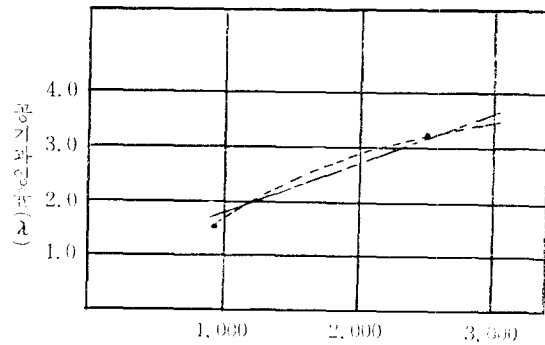
$$y_n = 7.8538 \times 10^{-3} + 1.274 \times x \times 10^{-5} \dots\dots\dots(14)$$

3) 酸 素

$$y_o = 0.04846 + 8.1857 \times x \times 10^{-5} \dots\dots\dots(15)$$

4) 窒 素

$$y_n = 1.8537 \times 10^{-3} + 2.741 \times x \times 10^{-6} \dots\dots\dots(16)$$



연소열량 (kcal/kg)
그림 4. 연소열량

5) 黄

$$y_s = 6.3325 \times 10^{-4} + 5.3207 \times x \times 10^{-7} \dots\dots(17)$$

表 4에서 本計算式에 依하여 計算値와 指針値의 차를 表示하여 보았으나 그 差는 尙 餘 餘를 알 수 있다.

4. 필요공기량

1) 이론공기량

쓰레기의 元素組成이 명확할 때의 이론공기량은 다음과 같이 表示된다.

$$L_{Air} = 8.89y_c + 26.7 \left(y_n - \frac{y_o}{8} \right) + 3.33y_s \dots\dots(18)$$

18式에 여지까지 구한 (13)(14)(15)를 代 入하면

$$L_{Air} = 0.533 + 8.814 \times x \times 10^{-4} \dots\dots\dots(19)$$

表 5에서 (19)式으로서 計算치와 指針치를 表示해 보았으나 일치함으로 實用상의 問題가 無는 것으로 判明된다.

2) 실제 공기량

이론공기량만으로서서는 완전히 쓰레기의 가연분의 연소가 불가능함으로 여유있게 많은량을 공급하여야 한다. 이와 같이 실제에 보내지는 공기량을 실제공기량 또는 필요공기량이라고 부른다. 이론 공기량과의 比 공기과잉율(λ)을 表 5에 명시한다. 저발열량과 공기과잉율(λ)의關係는 직선式으로 表示하면 오차가 크기 때문에

$\lambda = a + b \log x$ (20)
單純變形對數式으로 계산한다.

$\lambda = -9.5282 + 3.7557 \log x$ (21)
 $\log x = X$ 로 놓으면 (20)式은

$\lambda = a + bx$ 로 되고 最少自乘法으로 計算함으로서 解答이 求하여진다. 計算結果를 (21)式으로 表示하였다. 이 式으로 計算된 値는 表 5에 表記하였다.

直線式으로 近似시키면

$$y = 0.869 + 9.29 \times 10^{-4} \times x$$

表 5와 같이 誤差가 크다는 것을 알 수 있다.

(19) (21)式에 依하여 實際공기량을 구하면

$$LA = \lambda LAir$$

$$= (-9.5282 + 3.7557 \log x)(0.553 + 8.014x \times 10^{-4}) \dots \dots \dots (22)$$

즉 (22)式으로 表示된다.

5. 연소가스량

이상과 같이 쓰레기의 저발열량만에 依하여 쓰레기 가연분 中の 元素가 계산되기 때문에 연소가스량이 算出이 가능하다.

습연소가스량을 V 로 하였을 때 다음식으로 나타낼 수가 있다.

$$V = (\lambda - 0.21) LAir + 1.87c + 11.2h + 0.7s + 1.24w + 0.8n \dots \dots \dots (23)$$

但, λ : 공기과잉량

$LAir$: 이론공기량 c : 탄소 h : 수소 s : 황
 w : 水分 n : 질소

(10)式 (13)式 (15)式 (16)式 (17)式 (19)式 (21)式을 (23)式에 代入하여 정리하면

$$V = (-9.738 + 3.756 \log x)(0.553 + 8.814x \times 10^{-4}) + 1.251 + 9.783x \times 10^{-6} \dots \dots \dots (24)$$

즉 (24)式으로 表示할 수 있다.

소각로 설계의 最重要항목인 계획 쓰레기質을 決定하는 것은 어려운 일이지만 구조지침에 의한 예를 해석하여 보면 그것을 설계조건에 充分히 實用할 수 있음을 보여주고 있다. 쓰레기에 대한 成分조사사업은 복잡한 관계가 있다. 즉 地方에 따로 계절에 따라 相違함으로 이에 對한 조사는 현지에서 사계절을 잘 선택하여 sampling 하고 그 成分을 시험함으로서 이 해석에 적합하도록 하여야 함을 提示하는 바이며 이렇게 하여 改善화작업에 임하는 일을 덜게 될 것이다.

參 考 文 獻

- 1) 廢棄物처리와 資源化 崔義昭, 1985, 청문각
- 2) 環境工學, 崔義昭 趙光明, 1978, 청문각
- 3) 環境보전法
- 4) 汚物 청소법
- 5) 産業廢棄物管理의 理論과 實際, 1985, 한국과학기술원
- 6) 廢棄物處理施設構造指針解說, 1972, 全國都市清掃會議
- 7) 都市의 廢棄物
- 8) Wilson D.C. Waste management Planing Evaluation Tecnologies Clarendon press Oxford (1981)
- 9) 環境保全協會報, 1985. 10, 環境保全協會