

|||||
論 文
|||||

서울市 쓰레기의 排出 추세와 쓰레기 燒却 熟의
利用에 關한 研究

金 信 道 *

A Study on The Trend of Occurrence and The Use Possibility
of Mass Burning of Solid Waste in Seoul

Shin Do Kim *

Abstract

This is to supply the basic data for saving energy and the appropriate way of waste disposal. The amount of waste disposed and its heat after burning is guessed to get conclusions.

1. The amount of disposable waste in 1990 in Seoul area is expected to be 2.2kg per man/day, coal ashes (YONTAN) 0.7kg, non-coal ashes 1.5kg.
2. The amount of waste combustibile and heat after burning will be increased, and it is useful when the waste has less than 70% of water.
3. The method to collect waste should be specially organized, because most of the waste collected in Korea is wet.
4. As the heat emitted from mass burning is 4×10^{12} kcal/y in 1985, it is considered to be in senses of energy saving and the rationnal way of waste disposal.
5. Special concern is needed because the environment contaminated will be polluted in result of burning.

* 正會員, 서울市立大學 環境工學科

1. 序

고도의 經濟成長, 都市의 人口集中, 生活樣式의 變化 등에 따라 쓰레기의 排出量은 急增하고 그 組成도 多樣하여졌다. 이러한 쓰레기의 合理的인 處理方法은 쓰레기의 成分에 따라 燒却, 퇴비화, 再生, 埋立 등의 여러方法으로 나누어 處理하는 것이 바람직하나, 現在 서울市에서는 쓰레기가 分別收去되지 않고, 分類하는데 많은 費用이 들므로 埋立에 의존하고 있다.

埋立方法은 埋立地의 確保, 埋立時의 運搬, 飛散粉塵, 惡臭 등의 問題, 埋立後에는 汚水에 의한 土壤汚染, 地盤沈下 등에 의해 土地利用에도

많은 問題가 남아 있다. 한편 유럽, 美國, 日本 등의 外國에서는 廢棄物의 合理的인 處理, 에너지 節約이란 측면에서 쓰레기를 燒却하여 그 熱을 利用함으로써 쓰레기의 마이너스(-) 價値를 플러스(+)
價値로 환원시키고 있으나, 우리나라에서는 이에 대한 研究나 資料가 정리되어있지 못한 실정에 있다.

따라서 本 研究에서는 우리나라 쓰레기의 排出現況을 把握하여 앞으로의 추세를 豫測하고, 이 중에서 可燃性 쓰레기의 燒却熱을 推定하여, 에너지 節約과 合理的인 쓰레기의 處理方案을 모색하는 基礎資料를 제공하는데 그 目的이 있다.

表1 서울市 年度別 쓰레기 排出量

區分 年度	年間收去量 (t)	前年 對比 增加率 (%)	人 口 (收去對象人口) (人)	前年 對比 增加率 (%)	家口數 (戶)	1人1日 排出量 (kg)	家口當 1日 排出量 (kg)	연탄재 1人1日 排出量 (kg)	비연탄재 1人1日 排出量 (kg)
1971	2,384,426	-	5,850,925(4,921,731)	-	1,151,078	1.33	5.68	1.006	0.321
1972	2,514,808	5.5	6,076,143(5,220,269)	3.85	1,182,655	1.32	5.83	1.023	0.297
1973	2,515,785	0.04	6,289,556(5,491,520)	3.51	1,215,538	1.26	5.67	1.198	0.057
1974	2,767,858	10.0	6,154,500(5,733,937)	4.01	1,273,678	1.32	5.95	1.212	0.111
1975	2,905,088	5.0	6,889,502(6,164,288)	5.31	1,409,577	1.29	5.65	1.218	0.073
1976	3,243,920	11.7	7,254,958(6,528,745)	5.30	1,461,009	1.36	6.08	1.169	0.192
1977	3,410,472	5.1	7,525,629(6,820,311)	3.73	1,529,323	1.37	6.11	1.214	0.156
1978	4,203,602	23.3	7,823,195(6,959,130)	3.95	1,609,121	1.65	7.16	1.155	0.500
1979	4,589,631	9.2	8,114,021(7,114,813)	3.72	1,713,193	1.77	8.21	1.040	0.727
1980	5,924,454	29.1	8,366,756(8,107,503)	3.12	1,847,877	2.00	8.78	1.071	0.931
1981	7,743,319	30.7	8,676,037(8,359,838)	3.69	1,915,104	2.54	11.08	1.055	1.483
1982	7,509,251	△3.0	8,916,000(8,669,187)	2.77	1,968,212	2.37	10.45	0.942	1.431

註: 1) 1人1日 排出量은 年間收去量을 收去對象人口로 나눔.

2) 연탄재 排出量은 서울市 統計年報의 무연탄 消費量으로 부터 推定함.

3) 非煉炭재 排出量은 1人1日 排出量에서 연탄재 1人1日 排出量을 뺀.

4) 年間收去量은 家庭쓰레기 만을 對象으로 함.

* 서울市 清掃課 資料

2. 쓰레기 排出量의 推定

2.1 쓰레기 排出의 特徵

쓰레기의 排出은 生活樣式, 消費水準 등에 따 크게 다르며, 특히 우리나라의 쓰레기는 연탄재가 많이 섞여 있어서 외국 쓰레기의 性狀과 크게 다르다. 表 1에 지난 10여年間의 서울市의 年度別 쓰레기 排出量을 보여 준다. 지난 10年間 1人當 排出量은 年平均 6.1%의 增加率을 보이고 있으며, 1978年에 急增하다가 1981年을 頂點으로 하여 1982年에는 오히려 減少하고 있다. 量的으로는 1972年에 1.32 kg / 人 · 日이 었으나 1982年에는 2.37 kg / 人 · 日로 약 2배 增加되었으며, 이는 人口增加率을 크게 앞지르고 있다.

그림 1에 쓰레기의 月別 排出量을 보여준다. 年度別로 점차 增加되었으며, 6~9月의 夏季에는 排出量이 적어서 11~3月의 冬季의 50~60%가 되고 있다. 이것은 우리나라 쓰레기 排出의 큰 特徵으로 대부분의 暖房用으로 使用되는 연

탄재가 冬季에 집중적으로 排出되기 때문이며, 3月이 2月보다 다소 增加하는 것은 겨울에 누적된 屋內의 쓰레기가 排出되기 때문¹⁾으로 解析된다.

表 2에 年度別 쓰레기의 組成을 보여준다. 연탄재의 比率은 점차 減어들고 있으나, 병, 醬桶, 종이類는 增加하고 있다. 이는 消費性向이 向上되고 있으며, 家庭用 燃料로 石油, 가스등을 使用하는 住宅이 늘어나고 있기 때문으로 생각된다.

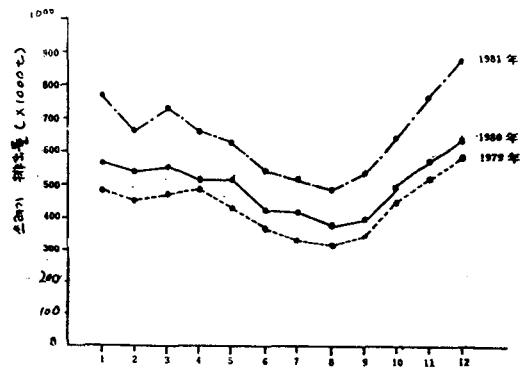


그림 1. 쓰레기의 月別 排出量

表 2 年度別 쓰레기의 組成

區 分		연탄재 포함쓰레기 (%)					연탄재 불포함쓰레기 (%)				
		1974	1976	1978	1980	1981	1974	1976	1978	1980	1981
可 能 性 쓰 레 기	종 이	1.27	3.25	3.55	5.76	7.20	8.59	16.37	17.75	18.14	16.40
	목 재	0.71	1.13	0.71	1.64	1.77	4.80	5.69	3.55	5.17	4.03
	섬 유	0.38	1.17	1.84	1.91	1.44	2.57	5.89	9.20	6.02	3.28
	주 방 쓰레기	11.31	11.60	8.37	11.01	17.67	76.47	58.44	41.85	34.68	40.26
	플 라 스틱	0.31	1.20	1.93	2.30	2.93	2.10	6.05	9.65	7.25	6.68
	고 무 기	-	-	1.30	0.38	0.42	-	-	6.50	1.20	0.96
	소 계	13.98	18.35	18.35	26.23	37.20	94.53	92.44	91.75	82.64	84.76
不 燃 性 쓰 레 기	연 탄 재	85.21	80.15	80.00	68.26	56.11	-	-	-	-	-
	금 속	0.15	0.44	0.75	1.77	0.87	1.01	2.22	3.75	5.58	1.98
	유 리, 도 자 기	0.66	1.06	0.88	0.89	2.01	4.46	5.34	4.40	2.80	4.58
	기 타	-	-	0.02	2.85	3.81	-	-	0.10	8.98	8.68
	소 계	86.02	81.65	81.65	73.77	62.80	5.47	7.56	8.25	17.36	15.24

* 서울市 清掃課 資料

2.2 1人當 쓰레기 排出量의 推定

2.2.1 연탄재

앞에서 檢討한 바와 같이 우리나라 쓰레기의 特徵은 연탄재가 많이 포함되어 있는 점이다. 그래서 외국에서와 같이 용이하게 燒却, 퇴비화 등으로 처리하기에는 곤란하다. 따라서 연탄재의 排出을 정확히 把握하고, 分別收去 등에 의한 分類 處理方法이 조속히 確立되어야 한다.

그림 2에 月別 연탄재 排出量을 보여준다. 실선은 1981年度 무연탄消費量에서 燃燒후의 연탄재 生成率을 45%로 하여 算定한 값이며, 점선은 1983年度에 漢江流域開發工事場에 投入⁴⁾된 量이다. 이 두선의 차이는 多量의 연탄재가

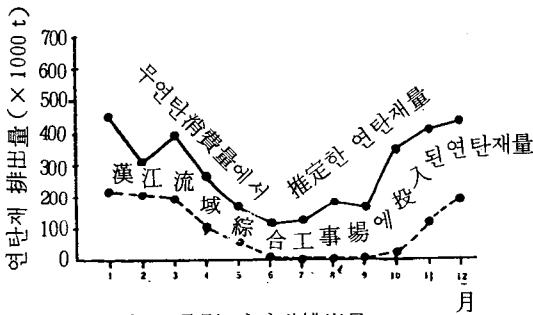


그림 2. 月別 연탄재 排出量

일반쓰레기와 함께 埋立場에 搬入되기 때문에 생각된다. 또한 연탄재의 排出은 都市가스의 普及과 暖房用 燃料의 變化 등, 앞으로의 에너지 供給計劃에 따라 감소하리라고 推定된다.

그림 3에 연탄재 排出量의 推定을 보여준다. 연탄재가 排出量은 生活水準의 向上과 함께 점차 감소하리라고 推定된다. 또한 都市가스의 供給 擴大 따라 올림픽의 직전에 급격히 감소하나 消費層에 따라서는 쉽게 전환치 못하고 서서히 교체하리라 豫測했다. 따라서 回歸曲線은 3次로 가정하여 최소 2승법에 의해 구하였다. 지난 10여年間은 잘 對應하고 있으며 1980년에는 0.8 kg/人·日로 1973年의 1.2 kg/人·日에 비해 35% 감소할 것으로 推定된다. 또한 回歸曲線의 相關係數는 0.8로써 비교적 좋은 相關關係가 있는 것으로 판단된다.

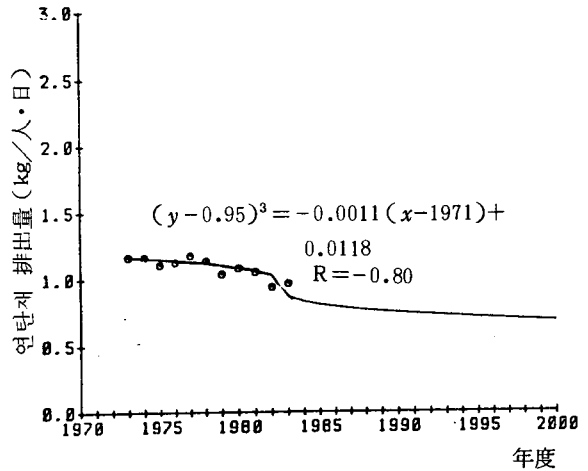


그림 3. 연탄재 排出量의 推定

2.2.2 비연탄재

연탄재를 빼고 난 비연탄재 排出量은 所得水準과 消費生活樣式과 密接한 關係를 가질 것으로 豫想된다. 외국의 경우에도 G.N.P의 增加에 따라 增加하고 있으며, 일반적으로 G.N.P가 높은 나라가 쓰레기의 排出量이 많다. 그림 4에 月別 비연탄재의 排出量을 보여준다. 실선과 점선은 앞에서와 같이 무연탄消費量과 漢江流域開發工事場에 投入量에서 推定한 값이다. 연탄재와는 달리 季節에 따른 變化가 없이 年中을 걸쳐 安定되어 있음을 알 수 있다.

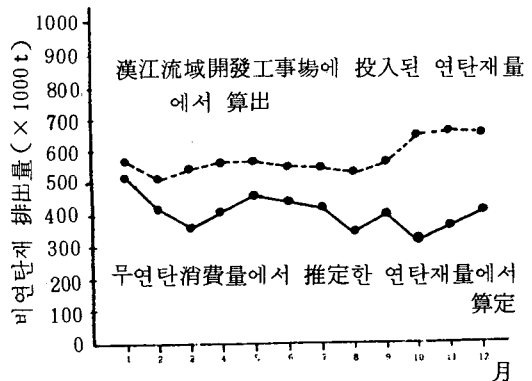


그림 4 月別 비연탄재의 排出量

비연탄재의 排出量은 所得과 密接한 關係를 가지나 所得이 增加한다고 無限定 增加된다고 생각하기 어렵다. 이러한 점은 美國, 日本 등의 年度別 資料에서도 찾아 볼 수 있다. 즉 低所得에서는 所得의 增加에 따라 쓰레기의 排出量이 增加하나 高所得이 되면 消費가 安定되어 쓰레기의 排出量의 增加가 둔화된다고 생각된다. 이러한 假定을 중심으로 비연탄재의 排出量을 3次曲線으로 推定하였다. 그림 5에 비연탄재 排出量의 推定을 보여준다. 지난 1978~1980 年을 고비로 비연탄재의 增加率은 둔화되고 있으며, 1990 年에는 1.8 kg / 人 · 日로 1981 年의 1.5 kg / 人 · 日의 약 1.2 배, 1978 年의 0.4 kg / 人 · 日의 4.5 배로 推定된다. 또한 回歸曲線의 相關係數는 0.97 로 매우 높은 相關關係를 갖고 있다.

3. 利用可能 燒却熱의 推定

3.1 人口의 推定

서울市의 人口는 1972 年에는 600 萬명이었으나 1982 年에는 900 萬명으로 年平均 4.1% 씩 增加하여 왔다. 이와같은 人口增加는 꾸준한 經濟成長과 더불어 서울市가 各分野의 中心地로 계속적으로 成長하여 왔기 때문이다.

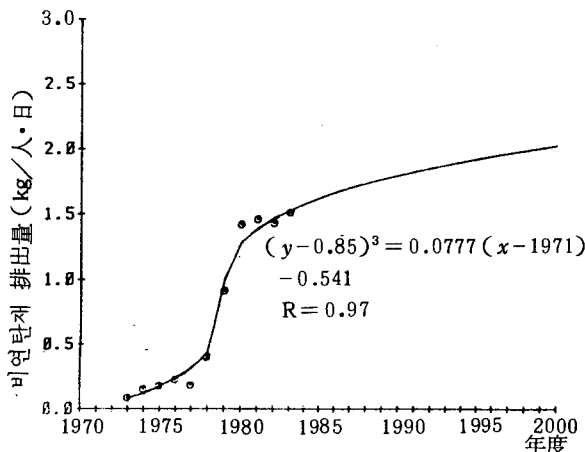


그림 5 비연탄재 排出量의 推定

그림 6 은 서울市의 人口의 推定을 보여준다. 점선은 서울市 中長期計劃⁶⁾ 人口이나 1978 年 부터는 실제 人口가 이를 초과하고 있다. 따라서 相關曲線을 成長曲線인 로지스틱(Logistic) 曲線을 사용하여 推定하였으며, 지금까지의 추세로는 1990 年에는 1,100 萬명을 돌파하리라 推定된다.

3.2 쓰레기 發生量의 檢討

지금까지 서울市 清掃課의 資料를 中心으로 分析하였다. 그러나 이 推定值를 그대로 使用하기에는 다음의 몇가지의 의문점이 있다.

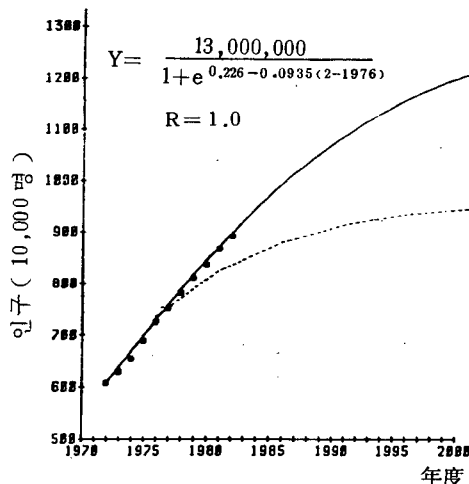


그림 6 서울市 人口의 推定

① 쓰레기의 發生量은 原則적으로 排出源에서 計量되어야 하나 大部分의 경우가 埋立地까지의 쓰레기 運搬車輛의 運行回數에 의해 算出되므로 쓰레기 發生量이 正確히 反映되지 않고 있다. 또한 쓰레기 運搬車가 항상 自己 積載量을 채우느냐의 問題이며, 쓰레기의 體積이나 組成에 따라 쓰레기의, 發生量이 크게 다를 수 있기 때문이다.

② 서울市 1人當 1日 쓰레기 排出量이 他都市나 外國에 비해서 異例적으로 높다. 물론 연탄재가 많이 섞여 있다는데 그 원인이 있으나,

연탄재를 제외한 排出量도 G.N.P가 우리의 4배인 일본의 1.5배 정도로 너무 높다.

이러한 몇가지 問題點을 보완하기 위하여 쓰레기의 排出量에 補正係數¹⁹⁾ 0.85를 使用하여 資料의 信賴性을 높였다. 이 값은 美國에서 都市 쓰레기량을 추정하는 값으로 널리 쓰이고 있는 값이다.

그림 7에 앞에서 추정된 연탄재, 비연탄재, 人口에 의한 쓰레기 總排出量의 推定을 보여준다.

人口增加가 크게 영향을 미쳐서 1990년에는 쓰레기의 總排出量은 8.5 Mt/年이며 연탄재, 비연탄재는 각각 2.5 Mt/年, 6.0 Mt/年으로 추정된다.

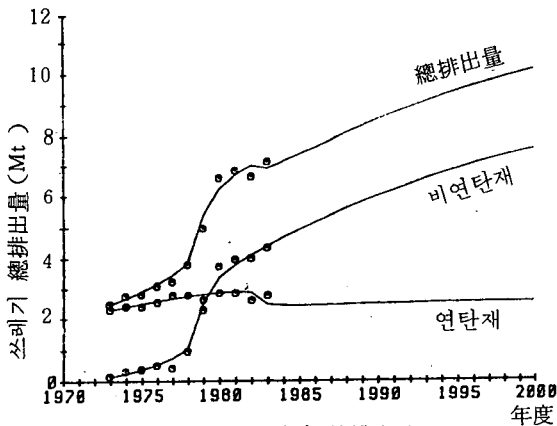


그림 7 쓰레기 總排出量

또한 비연탄재는 모두가 可燃性物質이 아니며 이 중에는 금속류, 유리류 등이 약 15%가 섞여있으므로 이를 減量이 可燃性 쓰레기로 推定된다.

(表 2 참조)

3.3 쓰레기 燒却熱

쓰레기의 燒却處理는 다른 處理方法에 비하여 燃燒에 의한 減量效果가 크고, 부식성 유기물을 燃燒시켜 무기화하며, 病原 微生物을 高溫下에서 滅菌하고, 惡臭도 산화시키며, 燒却熱도 利用할 수 있어 매우 좋은 處理方法이다. 그러나 우리나라 쓰레기는 외국에 비해 水分의 含水量이

많고 종이류 등의 高熱을 내는 可燃性 物質이 적으나, 다음의 式¹⁶⁾에 의해 대략적인 發熱量을 推定할 수 있다.

$$H_L = (4000 \times a + 4600 \times b + 4200 \times c + 3800 \times d + 8000 \times f) \times \frac{1}{100} \times \frac{100 - w}{100} - 600 \times \frac{w}{100}$$

H_L = 低位發熱量 (kcal / kg)

a = 종이류의 組成比 (%)

b = 목재류의 組成比 (%)

c = 섬유류의 組成比 (%)

d = 주방쓰레기의 組成比 (%)

e = 플라스틱의 組成比 (%)

f = 고무류의 組成比 (%)

w = 含水率 (%)

이 식의 4000, 4600, 4200, 3800, 8000은 각각의 구성원의 發熱量으로 單位는 kcal/kg이며, 600은 물의 蒸發熱 539 kcal/kg과 상온에서 100°C까지의 현열의 吸으로 單位는 kcal/kg이다.

이 式에 表 2의 연탄재 불포함 쓰레기 組成比를 使用하여, 含水率을 變化시키면 그림 8과 같이 된다. 1978年을 제외하고는 發熱量이 매년 增加하고 있다.

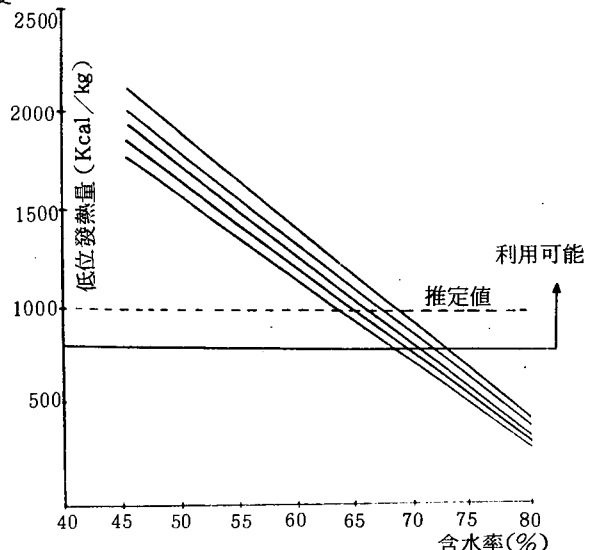


그림 8 含水率에 따른 發熱量

日本の 쓰레기는 含水率이 50 ~ 55 %로 報告되고 있다.¹⁶⁾ 그러나 우리나라 쓰레기는 이보다 含水率이 다소 높으리라 생각되며, 55 ~ 65%로 假定하면 1000 ~ 1500 kcal/kg으로 推定된다.

일 반적으로 發熱量이 800 kcal/kg 이하에서는 補助燃料과 混合하여야 燒却可能하므로 燒却熱의 利用은 不合理하다고 판단하고 있다.¹⁵⁾

그러나 위의 推定에 의하면 우리나라 쓰레기는 이미 1000 ~ 1500 kcal/kg으로 추정되므로 충분히 燒却처리가 可能하다. 또한 歐美에서는 2400 ~ 2800 kcal/kg¹⁴⁾ 日本에서는 1800 ~ 2600 kcal/kg로¹³⁾ 推定하고 있으며, 木洞地區 集團 에너지 供給計劃⁵⁾에서는 家庭用 쓰레기는 겨울에는 2100 kcal/kg, 여름에는 1100 kcal/kg 商業, 公共地域 쓰레기는 2400 ~ 3000 kcal/kg으로 推定하고 있어서, 위의 식의 값과 다소 差異는 있으나 충분히 利用可能하다고 판단된다.

따라서 쓰레기의 發熱量을 1000 kcal/kg으로 가정하고, 그림 7의 값을 써서 可燃性 쓰레기를 燒却하여 利用 가능한 燒却熱을 추정하면 그림 9와 같이 된다. 따라서 1982년에는 3.6×10^{12} kcal/년의 열이 利用되지 못하고 埋立되어 버려진 셈이 되며, 이를 油類로 환산하면 1.8×10^6 드럼에 해당하는 量이며, 아파트 60만 세대의 年間 暖房에너지 量⁵⁾에 해당된다.

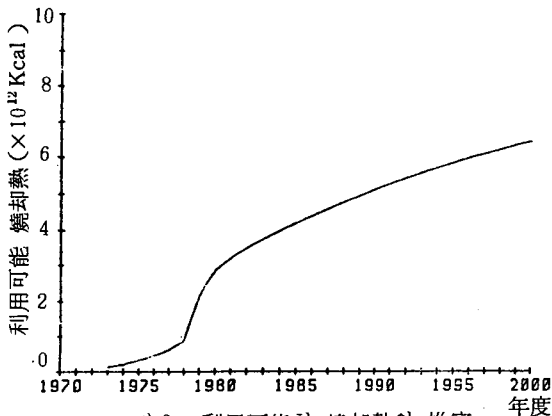


그림 9 利用 가능한 燒却熱의 推定

4. 結

이상의 쓰레기의 排出現況을 통한 排出量, 排出特性, 쓰레기 燒却熱의 推定에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 서울시의 쓰레기의 排出量은 1990년에는 總 2.2 kg/人·日로서 연탄재 0.7 kg/人·日, 비 연탄재 1.5 kg/人·日로 推定된다.

2) 都市가스의 普及과 油類使用의 擴散에 의한 燃料의 轉換에 따라 可燃性 쓰레기의 比重이 더욱 增加하며, 쓰레기 發熱量도 높아질 것으로 예상되며, 지금의 組成比에서도 含水率이 70% 이하에서는 燒却熱을 利用할 수 있다.

3) 우리나라 쓰레기는 水分의 含有量이 많아서 低位發熱量이 낮다. 따라서 現在의 쓰레기에서 燒却熱을 利用하기 위해서는 分別收去 등의 對策이 先行되어야 한다.

4) 쓰레기의 合理的인 處理와 에너지의 節約이란 면에서 燒却處理는 매우 유망한 방법이다. 만일 1985年度 可燃性 쓰레기를 모두 燃却한다면 燒却熱은 모두 4×10^{12} kcal/년이 되며, 이는 아파트 65만세대의 年間 暖房 에너지에 해당되는 量이다.

따라서 이 거대한 燒却熱을 合理的으로 利用하는 다각적인 檢討가 필요하다.

5) 쓰레기의 燒却은 大氣汚染 등의 環境的인 問題가 아직 남아 있다. 따라서 이에 대한 研究 檢討가 필요하다.

參考文獻

1. 서울대학교 環境大學院, 都市 固形廢棄物의 效率的인 관리에 관한 연구, 1983.
2. 한국科學技術院, 서울시 都市 固形廢棄物 處理場 建設 基本計劃에 관한 연구, 1983.
3. 國土開發研究院, 都市固形廢棄物의 效率的 收去方案研究, 1983.

4. 建設部, 漢江流域調査報告書, 1978.
5. 에너지관리공단, 木洞地區集團에너지供給施設基本設計報告, 1984.
6. 서울특별시, 서울都市開發 長期構想 中期計劃, 1980.
7. 서울특별시, 서울특별시의 주택 및 쓰레기 처분문제와 그 해결방안에 관한 연구, 1979.
8. 서울특별시, 한강종합개발 환경영향평가 보고서, 1983.
9. 서울특별시, 서울시 난지도 廢棄物 立體衛生埋立施行 基本計劃報告書, 1985.
10. 서울시立大學 수도권개발연구소, 서울특별시 지역청소에 관한 원가계산 및 민간대행업체 기업진단, 1984.
11. 환경청, 首都圏大單位廢棄物埋立場 設置를 위한 妥當性 調査, 1983.
12. 東京都 清掃局, 事業概要, 1983.
13. 科學技術廳 資料調査會, 一般廢棄物・下水汚泥から
 - ① エネルギー-回收利用た 關する 調査報告, 1980.
14. 佐伯康治, 現代技術系と 廢棄物, 日刊工業新聞, 1980.
15. 狩郷修, ごみ焼却爐選定の技術的評價, 工業出版社, 1978.
16. 尾島俊雄, 大規模住宅たちける 家庭廢棄物處理 システムに關する研究, 日本都市センター調査研究期報, 1975.
17. EPA, Guidelines for Local Government on Solid Waste Management, SW-17C, 1971.
18. Country of Los Angeles, Development of Construction and Use Criteria for Sanitary Landfills, PB217036, 1969.
19. Tchobanoglous, Theisen, Eliassen, Solid Wastes, McGraw Hill Co., 1977.