

廢棄物 燒却發電에 關한 考察

韓電 技術研究所所長
李 光 週*

1. 概 要

廢棄物은 물, 空氣, 以外的 固形物質이 本來의 目的대로 一定 期間 使用된후 經濟性이 없어 져버린 狀態를 말하며 人間生活을 영위하는 過程에서 必然的으로 發生하는 것이다. 또 個別的으로는 廢棄物이지만 大量 收集하면 資源이 된다. 廢棄物은 Compost, 休紙와같이 物質的으로 回收되고, 또 Energy 로도 回收 된다.

이 Energy 를 回收하는 方法으로는

i) 燒却熱水 利用 方法

ii) 燒却蒸氣 및 發電 利用 方法

iii) 熱 分解 油化 利用 方法

iv) 熱 分解 Gas 利用 方法

v) Methane 利用 方法

等이 있다 i),ii),는 現在 外國에서 利用하고 있으며 iii),iv),v),도 一部 利用되고 있으나, 아직도 많은 研究가 進行되고 있다. 여기에서는 外國에서의 廢棄物 燒却發電 利用 現況과, 서울市를 中心으로 우리나라에서의 燒却發電 可能性과 이것을 施行한 경우의 問題點 및 推進方案에 대하여 간단히 살펴보고자 한다.

그림-1은 廢棄物을 分類한 것이다.

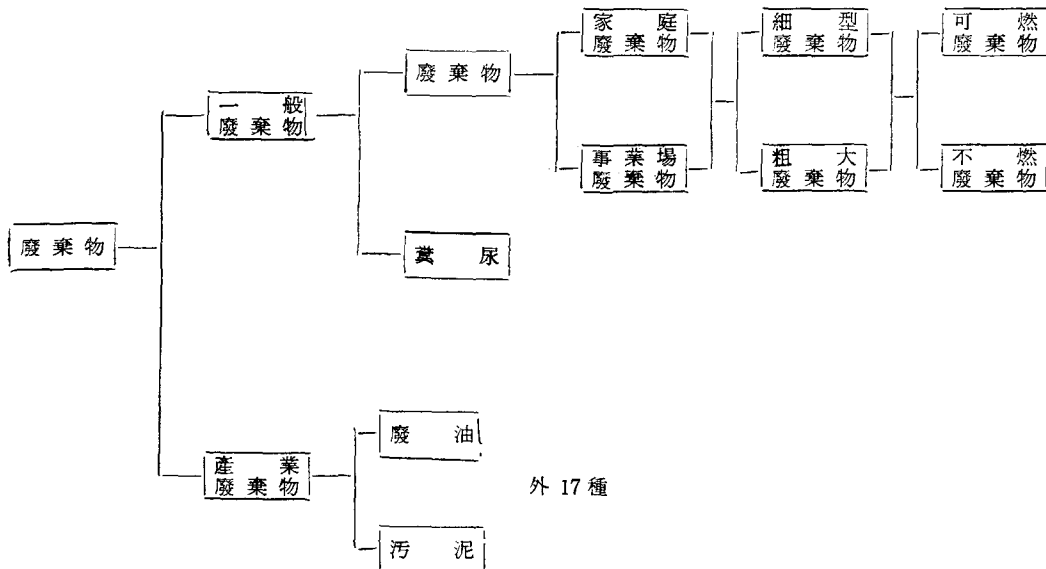


그림-1 廢棄物의 分類

* 電氣技術士(發送配電)

産業廢棄物은 産業活動에서 생기는 廢棄物中 汚泥, 廢油, 廢酸, 廢알카리, 廢프라스틱等 19種의 廢棄物을 말하고 一般廢棄物은 産業廢棄物 以外的 廢棄物을 말한다.

2. 外國의 廢棄物 燒却發電 利用 現況

廢棄物은 여러 物質의 混合物로 高溫 高壓 System에서의 使用이 어렵고, 發熱量이 낮아 單獨發電 Plant의 建設이 困難하고, 質量的 變動으로 安定出力의 維持도 어려우며, 長期 貯藏의 不可로 發電燃料로서 不利한 特性을 갖고 있다.

이러한 단점이 있음에도 불구하고 廢棄物의 燒却을 통한 熱水, 蒸氣供給 및 電力生産은 1950年代 서독에서부터 시작되어 프랑스, 美國...等 여러 나라에서 施行되고 있다.

프랑스 파리에서는 廢棄物의 約 90%를 燒却 處理하여 그 Energy를 回收하고 있다 가까운 日本에서도 1965年 4月 大板의 西淀 清掃工場에서의 200 Ton/日 廢棄物 燒却은 所內動力을 目的으로 시작하였으나 1973年 Oil 속크 以後 賣

電을 目的으로 發電設備을 갖추게 되었다. 現在는 (1977年 11月) 11個 發電所 25個 發電所 清掃工場에서 500萬T/年을 燒却 70,000kw를 發電하고 있으며, 앞으로는 人口 15萬 以上都市 122個에서 發電하던 (假定) 46萬kw 生産이 可能한 것으로 보고 있다. 우리나라 에서도 지난 12月 11日 國際商事에서 釜山에 産業廢棄物 燒却施設을 준공했다. 이 施設은 고무, 프라스틱等 高分子 産業廢棄物 40Ton/日을 Rotary Kiln方式으로 燒却, 여기서 나오는 熱을 利用, 熱水를 暖房에 使用하여 1日 17Drum (280만원)의 Bunker C를 때는 것과같은 效果로 1년 (300일)에 8억 6000 萬원의 燃料費를 節約할 수 있다고 한다. 그림-2는 트럭에서부터 Boiler까지의 일관작업으로 Mill로 廢棄物을 분쇄하고 철분과 Non-burnable 物質을 제거하여 燒却發電을 할때의 廢棄物 處理圖이며⁷⁾ 그림-3은 프랑스 Ivry 發電所(64,000kw)의 發電系統을 表示한 것이다. 이 發電所는 現在 廢棄物 燒却發電에서의 世界 最大施設로 알려져 있다.

表-1은 日本에서의 處理場 規模에 따른 廢棄物 利用 方法을 表示한 것이다. 1,000Ton/日이

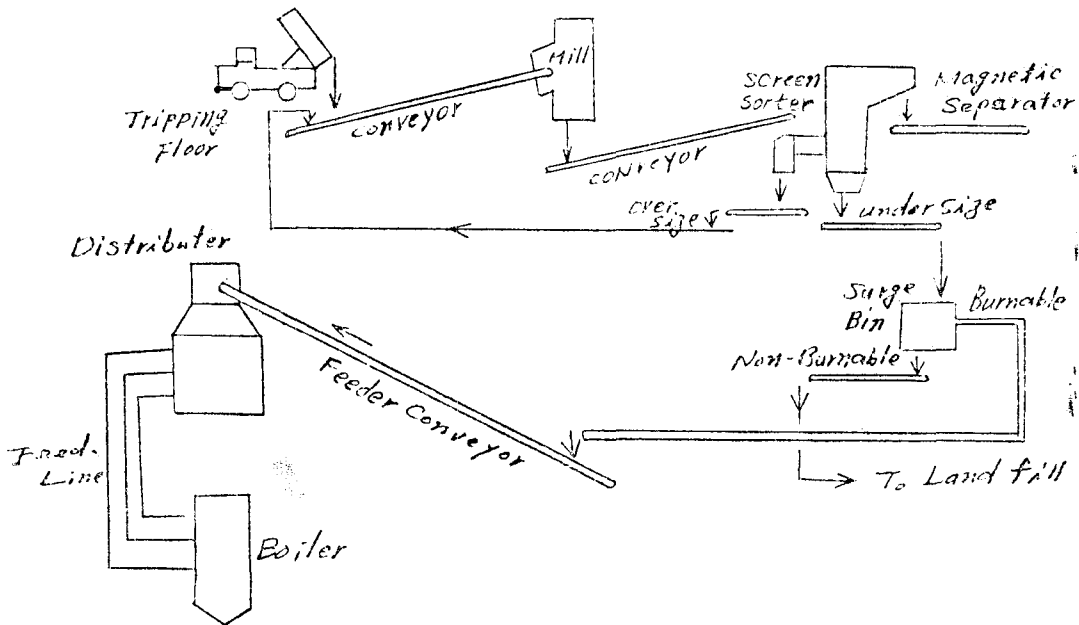


그림-2 燒却發電을 위한 廢棄物 處理圖⁷⁾

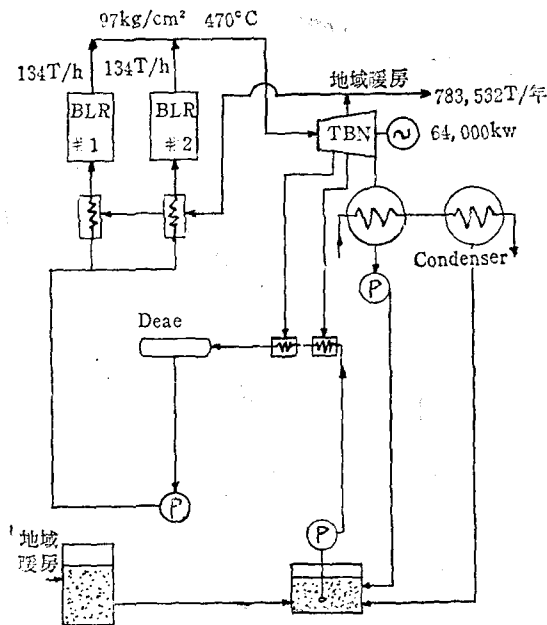


그림 -3 프랑스 Ivry 發電系統

處理場規模	排出口	利用方法
100T/日	10萬	熱供給 晝間發電
100~300T/日	10~30萬	自家消費發電 16~24Hr 運轉
300~1,000T/日	30~100萬	自家消費以上發電 安定 및 熱供給同時
1,000T/日	100萬	1萬 kw 規模發電

表-1 日本에서의 處理場 規模에 따른 回收 利用 方法

되면 10,000kw 程度 發電 할 수 있다는 것을 보여주고 있다⁴⁾. 또 表-2 는 各國의 廢棄物 發電現況이다²⁾. 日本의 廢棄物 發電所의 蒸氣壓力은 10~22kg/cm², 蒸氣溫度는 180°C~270°C 가 대부분이다. 廢棄物 燒却用 Boiler 形式은 上部에 Boiler 를 設置하고 爐壁을 水冷壁으로 한 Radiation Boiler 構造를 택한 水管式 Boiler 가 많이 使用되고 있다. 水管式 Boiler 에는 自然循環式과 強制循環式의 두가지가 있으며 日本에서는 自然循環式 Boiler 를 設置한 곳이 18工場 53 基, 強制循環式 Boiler 를 設置한 곳이 92工場 52基이다. 廢棄物 燒却用 Boiler 로서 自然循環式인 것은 罐水의 保有量이 크므로 廢棄物質의 變

〈表-2〉 各國의 廢棄物 發電 現況

國別	位置	出力 (kw)	보일러容積 (T/日)	處理能力 (T/日)	設置年度
프랑스	파리	64,000	134×2	1200×2	1969
화란	룩셈부르크	20,500×1	30×4	375×4	—
미국	시카고	—	50×4	360×4	1970
오스트리아	빈	5,000×1	38.5×2	360×2	1971
영국	런던	12,500×4	39.5×5	336×5	1969
스웨덴	스톡홀름	2,340	13.5	120	—
스위스	KEZO	24,000×1	40×2	360×2	1970
서독	문헨	124,000 (石炭, 0:1, 混燒)	365	—	1971
스위스	취리히	2,340	12.5	—	1971
일본	川崎	1,300	200×3	200×3	1971
	橫濱	4,900	72.3	500×3	1976
	東京	12,000	58.8	500×3	1977

동에 의한 爐內의 負荷變動에 대해 安定된 運轉이 可能하고 信賴性이 높다. 強制循環式인것은 傳熱의 形式을 자유롭게 設計할 수 있다는 점과 客積이 적어지므로 建設費, 築爐構造面에서 유리하고, 比較的 負荷가 安定된 燒却爐에 有利하다. Turbine 은 大阪 西淀工場과 東京 葛飾工場이 復水式 Turbine 을 使用하고 있으며, 그외의工場은 全部 背壓 Turbine 이다. 유럽은 蒸氣溫度 500°C 蒸氣壓力 97kg/cm² 되는 것도 있으며 大體로 日本보다 壓力 溫度가 훨씬 높다²⁾. 이것은 廢棄物의 質의 차이에 基因한다고 생각된다. 廢棄物全燒 世界最大 發電所는 프랑스 파리의 Ivry 로 64,000 kw 이고, 重油, Gas 混燒 世界最大 發電所는 서독 문헨의 124,000 kw 로 알려져 있다²⁾.

3. 우리나라의 廢棄物 發電 可能性檢計

가. 우리나라와 外國의 廢棄物 比較

表-3, 4, 5, 에서 우리나라와 外國의 廢棄物을 比較해 보았다⁶⁾. 表-3, 4, 5, 에서 보는바와 같이 우리나라 廢棄物은 外國의 廢棄物에 비해 相當한 差異가 있음을 알 수 있다. 即 可燃性 物質이 外國의 約 1/4, 發熱量이 外國의 1/5~1/8程.

〈表-3〉

廢棄物生產量

國別	都市別	1日生産量 (kg/人)	可燃物質 (kg/人)	可燃物質 (%)	年間增加率 (%)	季節別變化幅 (%)	備考
韓國	서울	1.32~1.37 平均 1.35	0.034~0.036	2.65	1.3	51.0	調査年度 1974~77
	大都市	1.06~1.13			2.2	35.9	"
	小都市	1.12~1.37			4.1	38.8	"
西獨	平均	0.46~0.66	0.30~0.43	65	2.9	23.0	1949~65
日本	"	0.49~0.82	0.64~0.78	95.5	8.2	—	1960~68

〈表-4〉 各國의 廢棄物 綜合發熱量

國別	市名	發熱量 kcal/kg	含水率 %	備考
美國	New York	2,500	28.0	
	New Jersey	1,869	30.1	
독일	Born	1,129	29.4	
	Heidel Berg	1,300	27.4	
日本	全國	800~1,000	40.0	
韓國	釜山	300	27.0	

〈表-5〉 廢棄物 性分比較

國別	區分	韓國	美國	英國	스위스	日本
可燃性	紙類	1 ²⁷	50	38	45	44
	음식, 야채찌꺼기類	11 ³²	12	27	20	36 ⁷
	PLASTIC 및 고무類	0 ⁴²	5	2 ⁵	3	4 ⁸
	木材및섬유類	0 ⁹⁶	8	3 ⁵	2	10
	小計	13 ⁹⁷	75	71	70	95 ⁵
不燃性	灰類	85 ²¹	7	11	20	—
	유리類	0 ⁶⁷	9	9	5	3 ¹
	金屬類	0 ¹⁵	9	9	5	1 ⁴
	小計	86 ⁹³	25	29	30	4 ⁵
合計		100	100	100	100	100

度이며, 季節別 變化幅도 外國보다 크다. 含水量은 外國보다 약간 적으나 이것은 煉炭재의 占有率이 많기 때문이며 좋은 條件이라 할 수 없다. 우리나라의 부엌 찌꺼기, 야채류는 含水量이 높아서 選別價値가 있을지 의문이다. 그림-4는 우리나라 煉炭재의 比를 表示한 것이며 서울

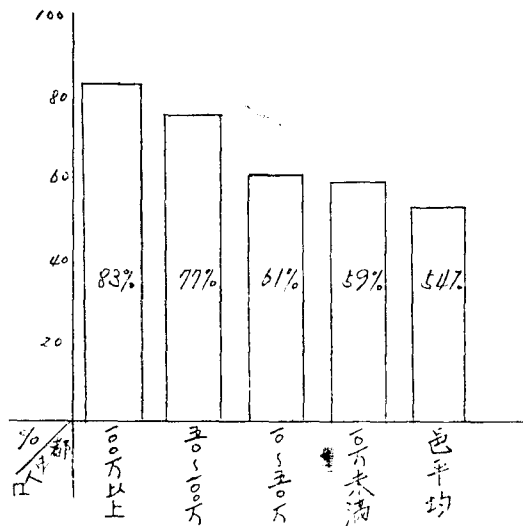


그림-4 우리나라 廢棄物中 煉炭재比 (%)

〈表-6〉 韓國의 廢棄物 處理現況 (全國) (%)

市別	區分	年度	埋立	燒却	推肥	其他	計
市平均	1974	97	2	1	—	100	
	77	96	3	1	—	100	
	平均	96.5	2.5	1	—	100	
邑平均	1974	81	5	10	4	100	
	77	90	5	2	3	100	
	平均	85.5	5	6	3.5	100	
全國平均	1974	89	3.5	5.5	2	100	
	77	93	4	1.5	1.5	100	
	平均	91	35	35	2	100	
※日本	1976	26.9	60.6	1.6	10.9	100	

※ 現在 서울市는 난지도에 全量埋立.

보다 都市가 煉炭을 많이 쓰고 있음을 알 수 있다. 表-6은 우리나라 廢棄物의 處理現況이며⁶⁾ 90% 以上이 埋立으로 處理되고 있다.

나. 서울市の 廢棄物 處理

現在 서울市에서의 廢棄物 收去는 家庭에서 나오는 廢棄物을 손수레나 小形 車輛으로 收去 積還場 (서울市 400個所)에 모아서 大形車輛으로, 또 特殊事業場(工場, 아파트)의 것은 바로 大形車輛으로 난지도에 운반하여 埋立하고 있다. 運搬車輛은 市廳所有 548臺, 個人所有 約 250臺이며 적재중량은 8 Ton 4.5Ton, 2.5Ton의 3種類이다. 總 處理人員은 8258名 (1980年)에 達한다. 積還場 및 난지도에서는 自活隊가 廢棄物 中에서 紙類, Plastic, 깡통, 빈병, 섬유, 등을 分離收集 再活用하고 있다. 또한 中浪川 下水 處理場에서는 80萬名分 下水 21萬 m³/日과 糞尿 800kl/日을 活性汚泥法에 의해 處理하고 있으며, 이 過程에서 생기는 消化 Methane Gas를 利用 830×2=1660 kw의 電力을 生産 이것으로 自體動力의 60%를 充當하고 있다.

그외에도 下水 25萬 m³/日과 糞尿 400kl/日을 活性汚泥法에 의해 處理하는 清溪川 下水 處理場과, 東部衛生 處理場이 있다. 東部 處理場에서는 糞尿만 600kl/日을 一次 濕式酸化處理 二次 活性汚泥法으로 處理하고 있을 뿐이다.

다. 發電 可能量 推定

서울市를 基準하여 發電 可能量을 推定하여 보면 1人 1.34 kg/日의 廢棄物을 排出 하므로 3,942,000Ton/年이 發生하나 可燃性物質 比를 2.65% 105,065 Ton/年 (286Ton/年), 發熱量은 日本의 例에 따라 1,000 Kcal/kg, 綜合效率 14% (日本 廢棄物 發電所 平均效率)로 假定하면 서울市의 可能出力은 2,100kw (2.65%)~11,070kw (13.97% 음식찌꺼기 야채類 句舍)이다. 文獻 (14)에는 1980年 可燃性 廢棄物이 27.3%로 推定되어 있는바 이 경우 發電可能 出力은 21,600kw이다. 그러나 위의 可能出力은 어디까지나 振定值이므로 尙히 正確한 基礎調査가 이루어져야 할 것이다.

〈表-7〉 可燃性 廢棄物 比

種 類	構成比 (%)	物量(T)	備 考
紙 類	1 ²⁷	50,663	發熱量 1000kcal/kg 總發熱量 105063×10 ⁹ kcal 總發生量 3,942,000Ton
프라스틱類	0 ²⁴	9,461	
纖 維 類	0 ²⁵	9,855	
木 材 類	0 ⁷¹	27,988	
고 무 類	0 ¹⁸	7,096	
計	2 ⁶⁵	105,063	

라. 經濟性 比較

(1) 美國의 경우

表-8은 年間 30萬 Ton을 處理하는 美國의 Midwest 研究所의 計算 結果報告이다¹¹⁾. 埋立의 경우가 實質 Ton當 處理費用이 \$2.57~5.95로 第一 적다. 燒却 및 電力回收 時는 \$8.97로 第一 비싸며 總 年間 費用에 對해 電力回收는 約 30% 程度이다. 그러나 熱 分解處理와 資源回收의 경우 回收率의 各 各 40%, 48%에 달하는 것은 注目할 만하다. 참고로 1974年 서울市의 廢棄物收集 및 運搬과 處理(거의 埋立)에 所要된 金額은 約 36億원, Ton當 1,281원(≡\$2.13) 들었다. 또 現在 (1980年 12月) 서울市의 營業汚物 收去料는 Ton當 2,600원(≡\$4.33)이다. ¹³⁾

〈表-8〉 美國廢棄物處理費用的 比較 (\$)

廢棄物處理方法	實質 Ton當費用	備 考
燒 却	7.68	年間 300日 稼動 處理能力 1000T/日 기준
燒却및蒸氣回收	7.05	
燒却및電力回收	8.95	
熱 分 解 處 理	5.42	
肥 料 分 解 處 理	6.28	
資 源 回 收	4.77	
埋 立	4.26	近接 2.57 遠隔 5.97

(2) 日本의 경우

日本에서는 廢棄物 處理場에서 發電할 경우 이것을 Energy System으로 보고 이 System의 運轉으로 얻어지는 Energy와 建設運轉을 위한 投入 Energy와의 差의 正, 負로 이 (Energy)

System의 메리트有無를 檢討하여 經濟性을 評價하고 있다. 即 機器의 設置, 土木關係의 建設, 資材原料 輸送 等に 所要된 建設時의 投入 Energy 및 廢棄物運搬車, 廢棄物의 運搬, 施設 運轉 等に 所要되는 運轉時의 投入 Energy 보다 發電에서 얻어진 回收 Energy가 크면 廢棄物 處理場에서 發要할 價値가 있다고 보는 것이다. 特히 投入 Energy에서는 廢棄物 運搬에 所要되는 Energy의 比重이 크므로 廢棄物 處理場의 位置와 廢棄物의 收集關係가 重要한 考慮 對象 이라고 보고 있다. 結局 日本에서는 熱量 1,400 kcal/kg, 處理能力 18萬 T/年 (600T/日)에서 收去距離가 15~20 km 일때 經濟性이 있다고 보고 있다¹³⁾. 그림-5는 重油火力 發電所와 300T/日(600T/日 處理 廢棄物 發電所)의 單價를 比較한 것이다¹⁴⁾. 이 그림을 보면 現在도 oil 價格이 上昇하고 있고 앞으로도 계속 上昇할 것이므로 經濟性이 점점 더 높아질 것으로 推定된다. 表-9는 廢棄物 處理場의 規模가 半이 되었을 때

의 經濟性을 比較한 것이다. 이 表에서 보는 바와같이 600T/日에서 300T/日로 廢棄物 處理場 規模가 半減되면 發電 單價가 24%, 35% 增加한다.

(3) 서울의 경우

(가) 난지도 中心 20km 內

난지도 中心 20km 內의 人口는 大략 270 萬名, 1人當 廢棄物 1.34kg/日 可燃性 物質 2.65%로 보면 可燃性 廢棄物은 95T/日에 不過하다. (13.97%로 보면 494T/日)

(나) 서울시 全體

서울市 全體의 경우는 앞의 “나”에서 보는 바와같이 2,100kw~21,600kw가 豫想되나 收去距離, 熱量, 選別問題 等 때문에 經濟的인 여건에는 미치지 못할 것으로 생각된다.

4. 우리나라 廢棄物을 利用한 發電의 問題點 및 推進方案

가. 廢棄物 發電의 問題點

첫째, 煉炭재의 比率이 80% 以上이나 된다.

둘째, 可燃性 物質이 14%이나 이 中에서도 야채 및 음식찌꺼기는 含水率이 많아 利用에 問題點이 있어 이것을 除外하면 可燃性 物質은 2.65%에 지나지 않고 또한 自活隊가 1次 2次에 걸쳐서 收集 再活用하므로 可燃性 物質은 더욱 적어진다.

셋째, 廢棄物의 秀節別 變動幅이 51%나 되어 安定 運轉에 支障을 준다.

넷째, 廢棄物 收去時 可燃性 物質의 分離 收去가 少되어 選別 費用이 많이 必要하며

다섯째, 燒却發電 利用에 必要한 各種의 基礎 資料가 거의 없다는 것 等이다.

나. 推進 方案

最近 國民所得의 伸張으로 廢棄物 排出量의 漸進的 增加와 質的 向上, 그리고 家庭 燃料의 代替 轉換으로 煉炭재는 앞으로 점차 減少되어 1980年代 초반에는 71%, 1990년에는 45%, 2000년에는 18.9%가 될 것으로 推定하고 있다¹⁴⁾. 또한 埋立地의 確保가 더욱 어려워 지고, 埋立

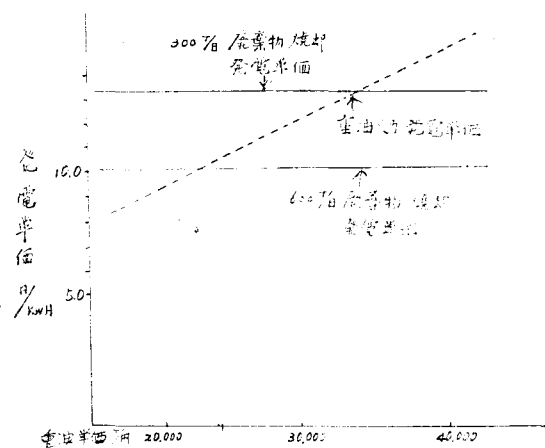


그림-5 重油火力 및 燒却發電 單價 比較

<表-9> 廢棄物量이 半減되었을 때의 經濟性 比較

處理能力 發電單價	日 當 處 理 能 力	
	600T/日	300T/日
發 電 單 價 (Boiler 포함)	10원 10전	12원 48전 (24%增)
發 電 單 價 (Boiler 제외)	5원 70전	7원 68전 (30%增)

地까지의 距離가 멀어질 것이므로 處理費用的 增加, 雇傭擴大 및 生活水準 向上으로 自活隊員에 依한 再活用 收集도 減少할 것이다. 더우기 Energy 資源의 開發 및 多樣化, 再活用 研究의 活性化로 廢棄物 利用의 經濟성이 提高될 것이므로 앞으로 推進 方案은

첫째, 廢棄物의 發生量, 種類, 發熱量, 收集 規模, 투자能力, 立地條件, 수요狀況, 等の 正確한 基礎 調査를 통한 資料 작성이 우선되어야 하겠으며

둘째, 廢棄物의 質이 向上되고 分離 收去와 같은 收去 方法의 改善이 이루어지면 地域 暖房 및 熱水供給에 우선 利用한다. (現在도 잠실이나 영등 地區의 아파트에서 나오는 廢棄物을 調査分析하여 小規模 地域 暖房 程度는 考慮할 만하다.)

셋째, 熱水供給 經驗을 基礎로 技術蓄積하여 漸進적으로 燒却 發電을 推進하는 것이 좋을 것이며

넷째, 우리나라 廢棄物에 알맞는 熱水供給 및 發電方式, 廢棄物 燒却時 發生하는 二次 環境 公害問題, 廢棄物對策 基本法 (Energy 節約을 위시한 電氣 事業法, 都市 Gas 事業法 等)과 아울러 廢棄物을 利用한 Composting, 熱 分解油化 方法, 熱 分解 Gas化 方法, Methane 發酵 方法, 等도 關係部署에서 계속 調査 研究되어

야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 1) 廢棄物 燒却發電의 推進方向 (日本電氣協會誌(197. 9. 4))
- 2) 쓰레기 發電으로 廢棄物의 Energy 化 (Energy 1976. 4)
- 3) 廢棄物의 資源化의 現狀과 앞으로의 方向 (省 Energy)
- 4) 一般 廢棄物 下水 汚泥에서의 Energy 回收利用 (生産과 電氣 1979. 5)
- 5) 都市 固形廢棄物의 再資源化 技術(省 Energy 1979. 2)
- 6) 우리나라 都市 廢棄物의 特性에 關한 研究(高大 碩士論文 1977. 11)
- 7) Coal Refuse to fuel new efficient plant (Power Engineering 1980. 6)
- 8) Sewage Sludge:A fuel alternative?
- 9) 日本의 쓰레기 燒却發電 現況(熱管理 1978. 8)
- 10) 公害對策 (1980. 6)
- 11) 産業 廢棄物의 處理技術(公害對策 1980. 6)
- 12) 美國의 廢棄物 處理 現狀 (省 Energy 1979. 8)
- 13) 廢棄物 Ⅲ編
- 14) 都市 쓰레기의 排出樣相과 그 處理對策 (公害對策 1980. 6)
- 15) 石油代替 Energy 政策에 대해서 (省 Energy 1980 10)

생 활 속 에 심 은 과 학
번 영 으 로 피 어 난 다