

‡ '94,'95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ‡

廢棄物發電의 현황과 전망에 관한 조사연구

2

성 영 권

고려대학교 공과대학 전기공학과 교수

3. 쓰레기의 再活用 및 에너지 回收法

1. 廢棄物의 效率的 利用

1975년의 석유위기 이후, 省資源, 省에너지기술 및 새로운 에너지源의 開發이 지향되고 있다. 우리들은, 기본적으로는, 오랜 기간에 걸쳐 지구상에 축적된 태양에너지의 化石을 이용하고 있는 셈이고, 오늘날과 같은 자원 대량소비형 사회 시스템을 이어나가는 한, 에너지자원의 급속한 감소는 피할 수 없다.

따라서, 새로운 에너지원의 개발과 동시에, 자원사용 후의 排出 에너지를 최소로 억제하도록 하는 사회 시스템의 구조를 변화시켜 나갈 필요가 있다.

이를 위한 한가지 方法은, 生産 프로세스의 에너지 利用 效率를 철저히 높여가는 것이 있고, 또 다른 하나는, 廢棄物의 형태로 배출되는 가연성 물질을 에너지원으로서의 회수 이용을 진행해 나가는 것일 것이다.

대량 수집이 가능하고, 에너지 회수가 가능한 폐기물로서는,

(1) 일반 폐기물

低位발열량 1,000~1,500 kcal/kg

(2) 하수 Sludge

高位발열량 1,000~3,000 kcal/kg

(3) 廢 油

低位발열량 5,000~10,000 kcal/kg

(4) 樹皮 등의 廢材

低位발열량 2,000~4,000 kcal/kg

등을 들 수 있다.

여기서 폐기물의 효율적인 이용의 사례로 쓰레기 燒却發電 및 地域暖房 시스템에 대해 간략하게 소개하고자 한다.

유럽에서는, 일찍부터 都市 쓰레기를 都市 燃料로 보고, 蒸氣發生形 燒却爐에 의해 발전 및 난방이 대대적으로 행해지고 있다. 유럽에서의 대부분의 대도시는, 지방자치체 또는 공공단체에 의해, 그 도시의 소요전력의 대부분을 충족시키고 있다. 즉, 각 도시 자체에서 公共 發電所를 가지고 있어서, 保安用 電力 또는 몇 割 정도의 얼마간의 전기량을 전력회사로부터 구입하고 있다. 한편, 쓰레기처리 는 지방자치체의 일이기 때문에, 비교적 용이하게 쓰레기 燒却 Plant

와 발전소가 併存가능한 조건에 있다.

일반적으로 자치체에서, 쓰레기의 收集, 搬入까지를 청소국이 책임을 맡고, 燒却과 灰(灰)처분까지를 전기국이 담당하고 있다. 그러나, 독일 최대의 RWE 전력회사인 칼나프 발전소처럼, 전력회사가 그 지방의 쓰레기를 소각하고 있는 예도 있다.

쓰레기 소각에서 발생한 증기는 지역난방에도 많이 사용되고 있다. 예를 들면, 프랑스의 수도 파리에서는 시와 그 근교 800만 인구가 배출하는 연간 약 170만톤의 쓰레기를 교외의 3개소에 있는 소각공장에서 소각하여, 이로 인해 얻어진 열을 이용하여 증기를 발생시켜서 발전하며, 발전에 사용한 후의 증기는 파리지 전역을 감싼 대규모 지역난방 시스템에 공급하는 형태로 쓰레기에너지를 이용하고 있다.

이에 반해, 일본의 대도시의 소각로는 거의 대부분이 유럽형식의 증기발생 형태이지만, 유감스럽게도, 유럽과 달리 熱回收 이용은 거의 이루어지지 않고 있다. 최근에 와서 겨우 소각공장 내에서의 냉난방, 자가발전, 노인 Home에의 給湯 정도로 이용하는 것으로부터 시작하여 본격적인 소각발전이 계획되어진 것 같다.

이 원인으로서는,

- (1) 석유 등의 화석연료가 지금까지 값이 매우 저렴하였다는 점
 - (2) 유럽에 비해, 지금까지, 특히 지방도시에서는 쓰레기의 발열량이 낮았다는 점
 - (3) 전력공급 사업이, 도시와 마을 단위로 행해져 온 청소사업과 전연 행정적으로 별개의 계통이고, 시스템으로서의 Couple이 매우 곤란하다는 점
 - (4) 비록 전력을 발생시켜도, 외부에 매각하는 것은 곤란하다는 점
 - (5) 열을 이용하는 다른 Plant가, 쓰레기 燒却余熱의 이용을 고려하지 않고 있었다는 점
 - (6) 쓰레기 燒却爐가 도시에서 떨어져 있고, 熱利用 시스템과 동떨어져 있다는 점
- 등을 생각할 수 있으나, 資源化 技術로서는, 쓰레기 燒却

發電이 가장 좋게 연구되고 있고, 경제적이기도 하므로 우리나라에서도 고려해야 할 문제이다.

일본의 경우 특기할 만한 것은, 廢棄物 發電燒却爐에서의 廢棄Plastics에서 얻어지는 열을 회수하는 방식 등을 연구, 조사한 것으로, 그 상황은 아래와 같다.

폐기Plastics은 소각시에 유해가스가 나오거나 Clinker가 발생하여 소각로가 손상되는 등의 이유로 쓰레기 소각장에서는 별로 달갑지 않은 쓰레기로 취급되어 거의 매입처분되어 왔다.

그러나, 원래 廢棄Plastics 原料가 석유이고 중유나 등유 정도의 발열량을 지니고 있기 때문에 폐기Plastics 처리촉진협회에서는 1993년도 사업으로서 「폐기Plastics전소 에너지 회수방식의 실증실험」을 실시. 폐기Plastics를 실용 규모의 폐기물 발전소각로에서 연소시켜 무공해이면서도 고효율의 에너지를 회수할 수 있는 가능성을 얻어 그 전망이 기대되고 있다.

이와 같은 실증시험은 폐기물 발전소각로로서 稼動하고 있는 하루의 처리능력이 30ton의 流動床式爐에서 실시한 것으로 廢棄Plastics에 대해서는 현재 分離收去되어 埋立處分되어 있는 것을 사용하였다.

작년 가을부터 세번에 나누어서 실험이 행해져 安定燃燒狀況의 확인을 비롯하여 폐기가스 중의 微量有害物質의 測定이나 爐內에서의 Clinker의 발생상황 등, 廢棄Plastics가 쓰레기 燒却爐에서 處理可能한가의 與否를 技術的으로 뒷받침하는 여러 가지 Data를 얻어내고 있었다.

지금까지 누계로 약 300시간, 주야 연속운전을 행한 결과, 폐기가스 중의 微量有害物質에 대해서는 煤塵, SO_x, NO_x, HCl 등이 大氣汚染防止法の 規制値를 훨씬 밑도는 측정 Data를 확인하였고 또한, 연속운전을 행해도 전혀 Trouble없이 燃燒 가능할 뿐 아니라 Clinker의 발생 등, 爐內의 이상도 전혀 나타나지 않았다.

또한, 사용한 폐기Plastics의 발열량(7,100~7,700 kcal/kg) 및 不燃燒分, 空氣比, 廢棄가스 溫度 등, 연소에 관련한 주요조건에 의거하여 燒却 에너지 回收效率를 시산

‡ '94.'95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ‡

한 결과, Boiler효율로 87%, 발전단 효율로는 약 20%라는 고효율을 실현할 수 있는 전망이 얻어졌다.

동협회에서는 폐기Plastics의 재생이용율의 향상을 목표로 삼아 Thermal Recycle에 관한 사업을 적극 추진하고 있어 1994년도 事業에서도 잇따라 廢棄Plastics이용에 의한 에너지 供給事業의 事業化調査나 油化, 가스化 및 Slurry화에 의한 新燃料에의 이용 등, 관련기술의 개발을 추진하기로 하고 있다.

2. 에너지 回收利用

가. 우리나라의 廢棄物 再資源化 趨勢

우리나라에서의 廢棄物 再資源化材 利用은, 제1차와 제2차의 석유 파동에 자극되어, 연구와 개발 및 실용화가 각 분야에서 진행되어, 특히 에너지回收 利用에 의한 省에너지化에의 속도를 높이고 있다. 특히 資源이 적고,石油 依存的인 에너지 구조를 가진 일본에 있어서, 폐기물의 再資源化 및 에너지化는 중요한 과제이고, 이것에 관한 기술개발은, 物理

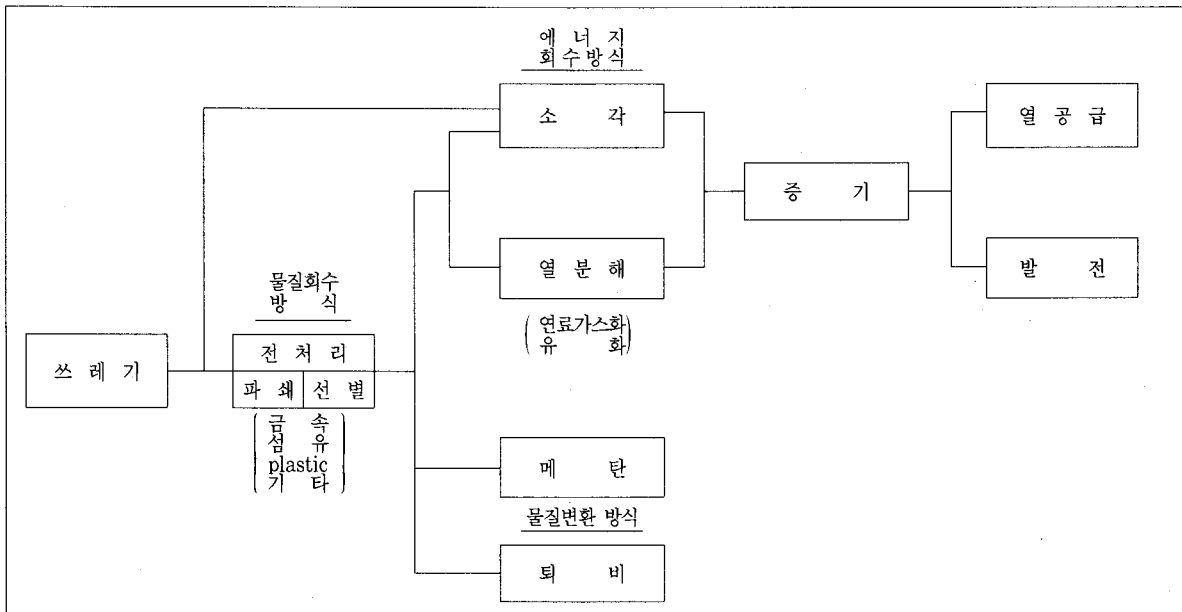
的, 化學的, 生物學的 분야에서 적극적으로 추진되고 있다.

특히 대규모로 배출되고, 앞으로도 완만한 증가경향을 보이고 있는 바, 그 보유하는 에너지는 결코 작은 것이 아니고, 동시에 比枯渴性인 一般廢棄物(都市 쓰레기)의 再資源化와 에너지化가 크게 대두되고 있다. 그러나, 그 처리기술은 複雜性和 困難性이 수반되어, 그 技術的인 開發은 반드시 원활하게 進行되고 있지는 않은 상황이다. 쓰레기, 즉, 一般廢棄物, 産業廢棄物이나 農畜産廢棄物을 안전하게 처리하는 것은, 생활환경의 보전과, 공중위생의 향상을 도모하게 되고, 또한 폐기물의 減量化, 安全化의 관점에서도 적극적으로 시급한 기술개발이 필요해지고 있다.

현재, 폐기물처리에서 큰 문제가 되고 있는 것은, 回收 再資源의 品質, 效率, 經濟性, 處理시스템의 信賴性 등이 중요한 문제로 되고 있고, 이들의 기술개발이 특히 기대되고 있다.

나. 再資源化 시스템

再資源化의 시스템으로서 다음의 두가지 방식이 있다 (그림 3-1 참조).



〈그림 3-1〉 再資源化 시스템

- ① 物質回收 方式
- ② 에너지回收 方式

(1) 物質回收 方式

(a) 物理的 方式 : 破碎와 選別에 의해 폐기물에 있는 모습 그대로의 有價物質인, 鐵, 非鐵金屬, 유리, 종이, 플라스틱 등의 회수방법

(b) 生物學的으로 형태를 변환시켜 회수하는 방식: 肥料化

(2) 에너지回收 方式 : 다음 세가지 方式이 있다.

(a) 폐기물의 연소에 의해 熱에너지로서 有效回收(瞬時形) : 熱, 動力, 電力

(b) 폐기물을 생물학적인 형태를 변환시켜 燃料化(貯藏形) : 매탄化

(c) 폐기물을 열분해하여 깨끗한 代替 燃料化(貯藏形) : Gas化, 油化

이상이 현재의 처리방식이나, 여기서는, 오늘날, 특히 중요한 문제로 되고 있는 일반폐기물, 즉 도시쓰레기에 관해서 약술해 보기로 한다.

쓰레기처리 방법은, 전에는 直接埋立에 의한 비율이 높았으나, 환경문제, 매립지의 확보곤란 등에 의해, 현재에는 燒却에 의한 비율이 약 6할, 埋立處理에 의한 것이 약 4할로 되어 있으며, 앞으로도 燒却에 의한 比率는 더욱 높아지리라 여겨진다.

지금까지의 燒却處理는, 쓰레기의 減量化와 安定化가 가능한 가장 우수한 방법으로서 실적이 높았으나, 최근에는 省 에너지로서, 또한 脫石油의 代替에너지로서, 쓰레기의 에너지화가 크게 대두되어 왔다.

즉, 쓰레기처리 사업에 있어서 소비에너지가 국내의 전체 소비량의 0.3%로 큰 비율을 점유하는 것과, 또한 자원으로서의 쓰레기는, 석유나 석탄처럼 특정지역에 집중적으로 존재하지 않고, 저밀도이면서도 각지에 분산되어 있고, 그밖에도 에너지화의 기술도 다른 석유 대체기술에 비해 간단하고 또한 비고갈성인 에너지원이기 때문에, Local 에너지로서의 활용이 기대되고 있다. 또한, 쓰레기 소각처리 사업은 에너지

다 소비형이지만, 에너지 제공형이기도 하다.

다. 廢棄物로부터의 에너지 回收利用

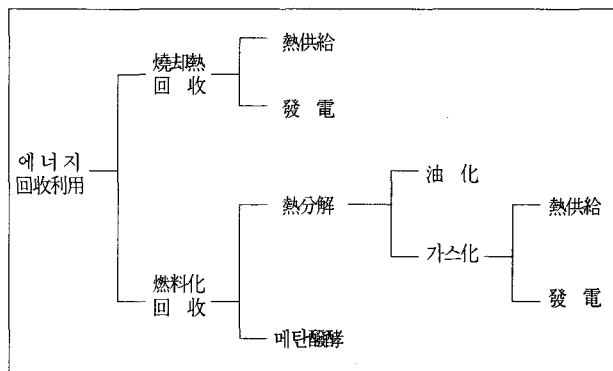
일반 및 산업폐기물로부터 에너지 회수를, 그 이용형태로 보면, 그림 3-2에 나타낸 바와 같이 크게 나눌 수 있다.

여기에서 燒却熱回收 이용은, 소각로에서 발생한 증기를 열, 발전 또는 熱併合發電으로 하는 것으로, 熱利用은 Plant의 隣接地에 한정된다.

이것에 대해 燃料化 回收利用은 Gas, 기름, 타르, 固定炭素가 얻어지고 그 貯蓄分은 輸送은 용이하고, 플랜트 施設 位置에 관계하지 않는 장점을 지니고 있다.

그러나, 현재의 에너지回收 시스템은, 쓰레기 燒却→ 熱回收→ 蒸氣溫水 利用으로回收되는 에너지가, 貯藏, 運搬이 不可能한 瞬時形인 시스템이 대부분이다. 이 소각방식의 단점을 보완하여, 저장과 운반이 가능한 에너지회수 시스템으로서, 플라스틱 등 소각에 적합하지 않은 것을 대량으로 포함한 쓰레기를 처리하는 방법으로서, 최근 열분해기술의 개발이 진행되고 있다.

최근에 이웃 일본에서는 이 연료화 회수이용을 通産省 公營 기술원의 대형 Project로서 채용되어, 회수 Gas는 Plant 내의 동력, 열원 또는 발전으로서 이용되고, 또 봄베충진에 의해 자동차 연료로서도 이용을 시도하고 있다. 또 메탄발효는, 과학기술청 등이 메타토피아 계획으로서 개발하여, 100~200



〈그림 3-2〉 廢棄物로부터의 에너지回收 利用 形態

‡ '94, '95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ‡

kW 규모의 汚泥가스 發電플랜트를 각 메이커가 정력적으로 착수하고 있다. 그러나 그 전력규모는 작고, 대용량 고효율 발전을 바라는 경우는 오로지 소각열회수에 의한 발전이다.

이 소각열 회수에 의한 발전방식으로서 폐기물을 연료 원으로서 발전하는 專燒발전방식과, 폐기물과 석탄, 중유를 혼용해, 어느것이든 한쪽을 주연료, 다른 쪽을 보조연료로 하는 혼소발전방식이 있다. 특히, 混燒발전은 전소발전에 비해 보일러에 의한 발생증기압력과 온도가 높아 일반 화력발전 정도의 규모를 지니고 있다. 또한 폐기물의 소각로와 석탄, 중유의 연소로의 조합방식에 의해 여러 가지의 묘미있는 시스템을 얻을 수 있는 장점을 지니고 있다.

또 한편에서는 소각과 열분해에 의한 에너지화에 적합하지 않고, 수분을 많이 포함하는 다른 農畜産쓰레기를 메탄가스로 회수하는 프로세스의 개발도 행해지고 있다.

현재, 이웃 일본에서는 28개의 자치체가 쓰레기소각발전을 실시하고 있고, 1일당 약 400만kWh의 전력을 회수하여 이용하고 있다.

그러나 이러한 양은, 쓰레기가 보유한 전체의 발전가능량에서 보면 극히 적은 양이다. 1981년도에 있어서 日本 厚生省의 조사에 의하면, 전국의 쓰레기 배출량은 1일당 약 9만 6000톤이고, 이것을 전력으로 환산하면 1일당 약 1900만kWh의 전력이 얻어질 가능성이 있다. 따라서, 현재의 상태는 그의 20%만을 이용하고 있는 데에 지나지 않고, 대부분은 이용되지 못한 채로 버려지고 있다. 이것은 대도시를 중심으로 해서 쓰레기소각에 의한 에너지회수가 실시되고 있으나, 앞으로는 중소도시의 쓰레기처리의 에너지회수 이용이 큰 비중을 차지하게 될 전망이다..

또, 日本의 厚生省에서 간행된 '熱利用研究會'의 종합적인 보고서에 따르면, 앞으로 自治體가 쓰레기發電을 新設할 경우는, 域内の Peak電力에 對應 可能な 發電方式으로 180톤/日 Class 이상의 施設이 經濟的이고, 그밖에도 發電, 熱供給일 경우의 經濟性은, 發電의 경우보다 매우 크다고 計算結果로 밝히고 있다.

그러나, 이 경우의 문제점으로서,

- (1) 쓰레기량, 쓰레기質의 變動幅,
- (2) 連續操業,
- (3) 産業과 公共施設

등의 熱供給先이 近接地에 있고, 동시에 연간을 지나서 열이용률이 높은 것 등이 큰 문제점이 되고 있다.

우리나라에서는 기술한 바와 같이 일반폐기물의 專燒발전을 비롯하여 일반폐기물의 混燒발전, 산업폐기물의 전소, 혼소발전 등은 거의 전무상태이다.

라. 現狀態에서의 에너지回收 利用

우리나라에서는 앞서 누차 언급한 바와 같이 쓰레기 에너지 회수이용은 거의 행해지지 않고 있으나 선진외국에서는 활발하게 활용되고 있다.

가령 현재, 일본에서 많이 채용되고 있는 소각에 의한 열 에너지회수 이용 시스템은,

A. 中小都市

燒却→熱回收→熱供給

B. 大都市

燒却→熱回收→蒸氣利用 $\left\{ \begin{array}{l} \text{發電} \\ \text{熱供給} \end{array} \right.$

이고, 이 시스템이 기술진보와 함께 中都市에도 파급해가고 있다.

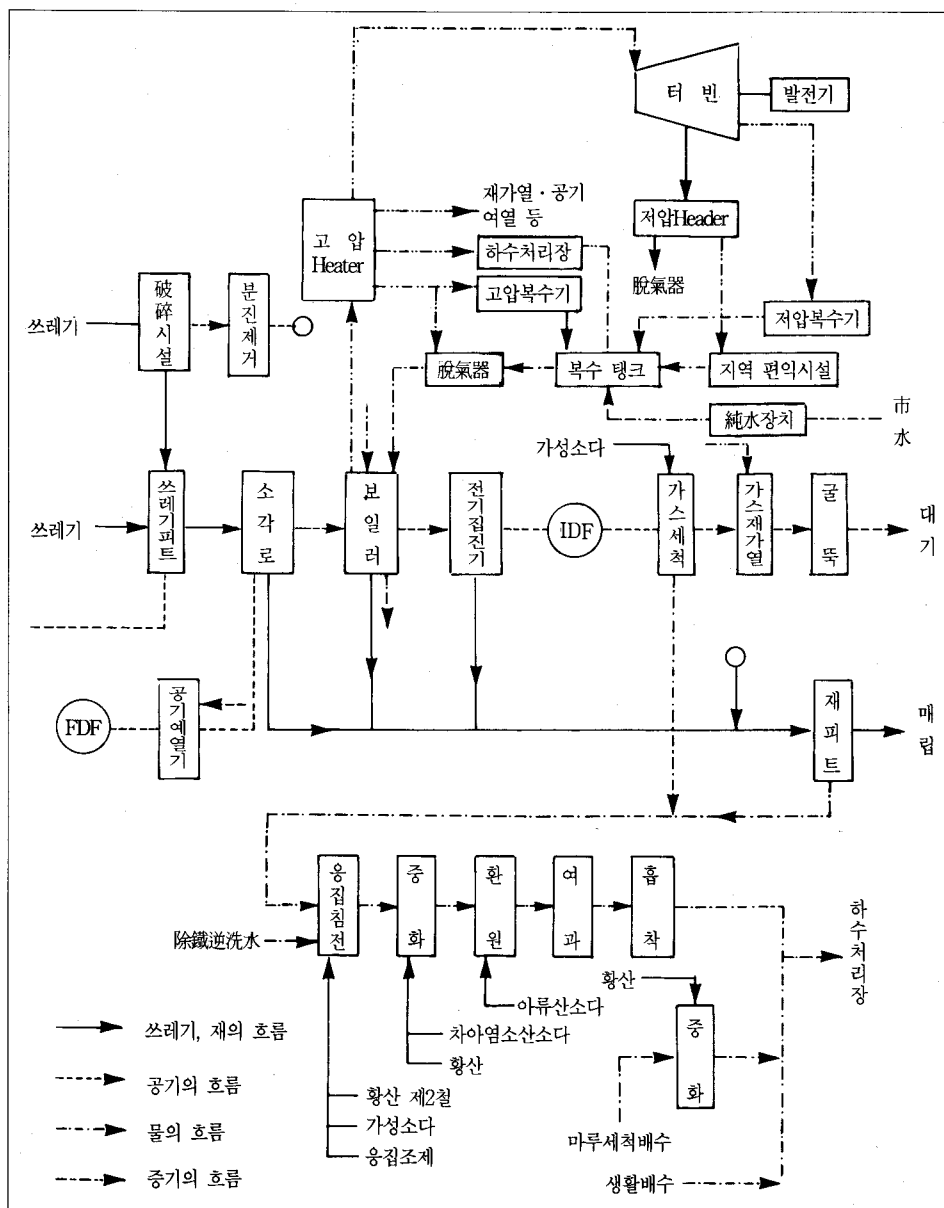
여기서 열회수 이용의 각종 모델에 대해 약술해 보면 다음과 같다.

(1) 發電 모델 : 쓰레기소각에 의해 발생한 증기를 증기 터빈으로 발전하는 시스템으로, 3가지 방식이 있다.

(a) 全量 發電方式 : 발생증기량에서 공장내 사용 증기량을 빼고 남은 잉여 증기량 전체를 발전용 증기 터빈에 사용하여, 시장성이 좋은 전력으로 전량 변환시켜 쓰레기처리 시설에 필요한 전력을 전량 확보함과 동시에, 잉여 전력은 전력회사에 매전하는 방식으로, 대도시에서 채용되고 있다.

(b) 場內 電力分 發電方式: 장내 필요전력의 최대를 발전용량으로 하여 장내 전력은 전부 공급하고, 잉여 전력은 전력회사에 매전하고, 잉여증기 전력이 생길 경우는 고압증기 복수 장치로 복수하여 보일러에 재공급하는 방식이다.

(c) 賣電 併用 發電方式: 종래의 쓰레기 소각처리 시설에 많이 보이는 방식으로, 잉여 전력은 전력회사에 역송전이 불가능한 것이다. 이 때문에 장내 전력보다도 절대적으로 적은 발전력을 지닌 발전설비를 설치하여, 부족전력



〈그림 3-3〉 都市 쓰레기 소각 프로세스

※ '94.'95년도 대한전기협회 전기분야 조사연구논문 ※

을 전력회사에서부터 구입하는 것이고, 잉여 증기는 高壓蒸氣復水裝置로 복수하여, 열은 대기에 배출시키는 방식이다.

(2) 熱供給 모델 : 쓰레기의 소각에 의해 발생한 증기 또는 온수를 공급하는 것이다.

(a) 工場內 利用:차량 세탁용, Cleaning용, 급탕,냉난방용, 세정 폐Gas 재가열용, Load Heating용이 있다.

(b) 工場外 利用:지역 냉난방용, Load Heating용, 사회 복지시설용, 관광 레저시설용, 농업시설용이 있으며, 수산양식용, 하수, 시궁창 및 오물처리용이 있으며 방식은, 소각 Plant 정지 시에도 필요한 열공급을 연속적으로 계속할 수 있는 열공급설비의 설치가 필요하다.

(3) 蒸氣驅動 모델 : 쓰레기 소각에 의해 발생한 증기를, 쓰레기 소각처리에 이용하는 誘引送風機, 펌프, 破碎機 등의 驅動源에 사용하는 것으로,

(a) 電動機에 대신하여 증기터빈에 의한 회전으로 기기를 驅動하는 방식,

(b) 전동기와 증기 터빈을 並列로 設置하여 둘 중 하나를 바꿔가며 기기를 驅動하는 방식,

(c) 誘導發電을 取入한 방식 등이 있다.

(4) 混合處理 모델 : 쓰레기소각 처리시설에 있어서, 쓰레기의 열량을 이용하여, 다른 폐기물, 즉, 현재 비교적 실행에 옮겨지고 있는 쓰레기와 하수오물 및 쓰레기와 시궁창오물을 함께 혼소하는 방식이다.

(5) 其他

(a) 쓰레기의 燃料化:열분해에 의한 연료화

(b) 排氣 Gas의 利用

현재상태에서, 일본의 쓰레기처리에 의한 열에너지의 회수 이용은 거의 대도시를 중심으로 실시되고 있으나, 앞으로는 대부분을 이용하지 못한 채 버리고 있는 중소도시의 열에너지의 활용을 적극적으로 진행시키려고 하고 있다.

이를 위해서는, 그 해당 도시에서의 연간을 통한 쓰레기양과 질에 대한 파악이 필요하다. 즉,

(i) 都市規模

(ii) 地域性

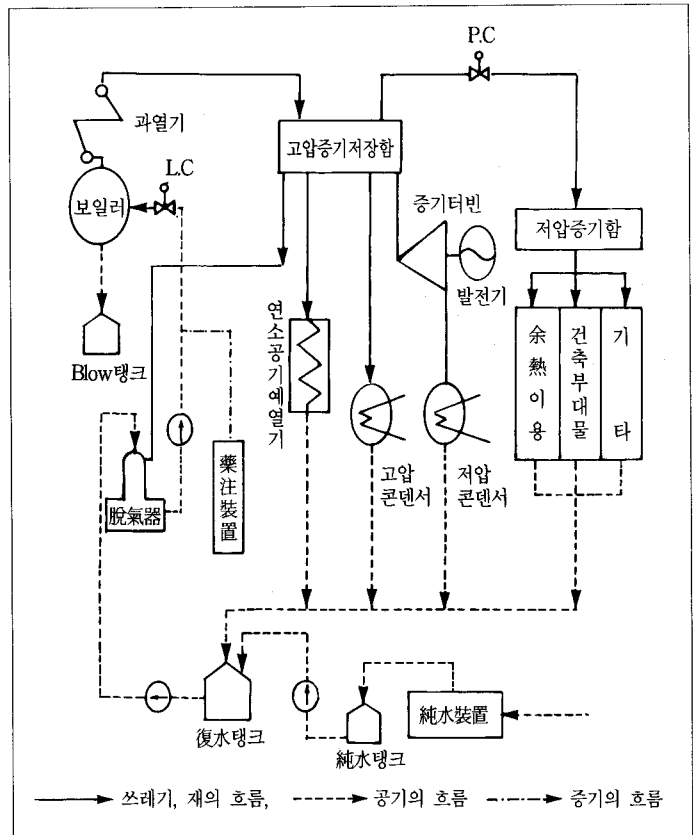
(iii) 季節性

(iv) 將來性

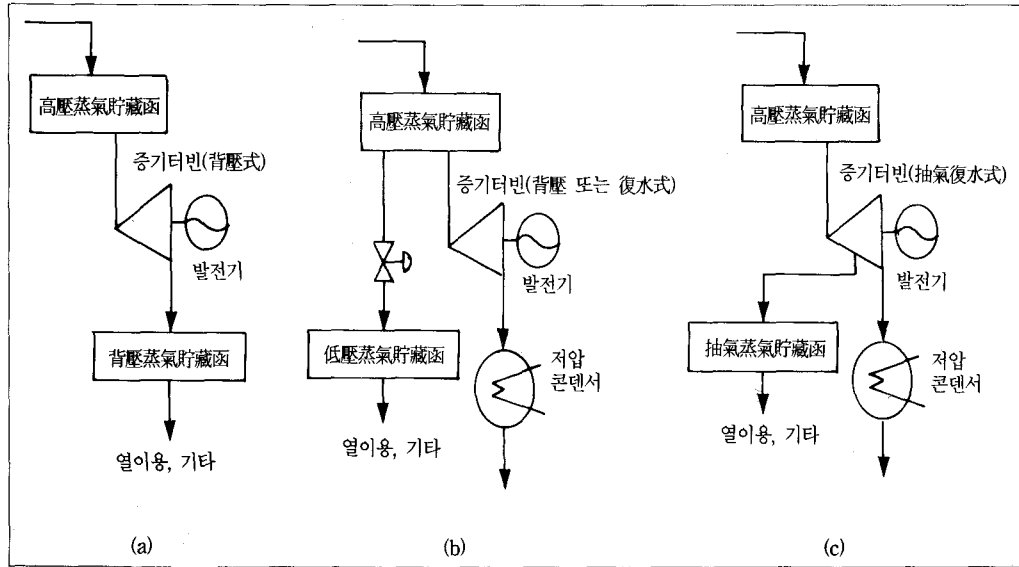
등에 따른 쓰레기양과 질의 변동특성을 파악하는 것이 필요한 한편, 발생한 열의 양과 질의 특성파악과 공급선의 확보가 문제이다.

참고로 도시 쓰레기의 소각 프로세스의 대략을 도시하면 그림 3-3과 같다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 소각 프로세스는 소각로를 중심으로 貯留, 前處理, 排氣가스處理, 排水 處理, 余熱 내지 省에너지(발전, 급탕 등), 回收 利用 등의 기능이 조합된 하나의 복합 프로세스이다.



〈그림 3-4〉 蒸氣, 復水 계통



〈그림 3-5〉發電과 熱利用 시스템

상술한 複合 프로세스 중 폐기물 발전을 위주로 한 발전 시스템은 통상 그림 3-4에 나타난 바와 같이 폐기물 발전의 증기, 복수계통이다. 배압식이나 복수식에 관계없이 이 계통에는 큰 차이는 없다. 증기 터빈 배기는 저압콘덴서로서 냉각되어 잉여증기는 그대로 고압콘덴서로서 냉각되어 복수로 되어 다시 보일러에 급수된다.

배압식에서 역내급전을 주체로 한 경우 잉여증기는 고압 증기貯留函으로부터 터빈에 병렬해서 설치된 고압콘덴서에 보내진다. 따라서, 비교적 큰 용량의 고압콘덴서를 필요로 하게 되고 경우에 따라서는 발생증기량의 전량을 처리하는 용량을 비치하는 경우도 있다.

復水式에서 外部給電을 하는 경우 主壓制御에 의해 거의 모든 증기가 터빈에 공급되기 때문에 剩餘蒸氣는 없고 통상적으로는 高壓콘덴서는 필요하지 않으나 불의의 사고에 대비하여 소용량의 것을 갖추어 놓고 있다. 그러나, 低壓콘덴서의 경우는 0.3 ata(진공) 정도까지 냉각하기 때문에 대용량의 것이 필요하게 된다.

한편, 열이용 시스템으로는 그림 3-5에 나타난 바와 같이 세 방식이 있다.

그림에서 (a)방식은 배압식의 전형적인 시스템이나 열이용의 목적에 의해 背壓을 높게 할 필요가 있거나 열이용 증기와 발전량이 반드시 독립적이지 않기 때문에 쓰레기 발전에 있어서는 사용하기 불편한 경우가 있다.

(b)방식은 背壓式, 復水式 어느 것이나 어느 곳에도 적용되는 시스템이며 터빈 배압의 여부에 관계없이 열이용은 별도로 적당하게 減壓된 증기로 공급되어 양적으로도 自由度가 있어 발전량도 열이용으로서 독립하여 설정할 수 있기 때문에 통상 이 시스템이 채용되는 예가 가장 많다.

(c)방식은 (a), (b)방식의 결합 시스템이라 할 수 있어 터빈의 中間 段落부터 소요하는 壓力蒸氣를 지출하여 열이용에 제공하는 것이다. 이 방식에서는 약간 특수한 抽氣 復水 터빈이 채용되어 열이용과 발전이 기능있게 행해지는 경우에도 유효한 방식이며 발전량도 가장 많이 얻을 수 있다.

앞으로 발전과 더불어 열공급도 성해지면 보급되는 방식이라 할 수 있으나 熱供給改革이 확립되고 있지 않으면 시스템으로의 Merit가 상실되기 때문에 이들의 적용에 임해서는 충분한 검토를 요한다.

(다음호에 계속)