

도시쓰레기 소각시스템의 기술개발 현황



박 종 남

한국전력기술(주) 전력기술개발연구소

4. 도시쓰레기의 소각성

4.1 조성성분과 발열량

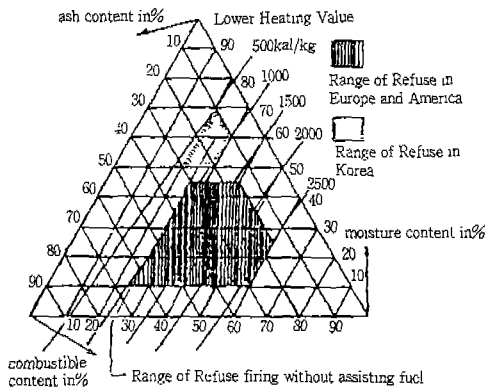
쓰레기중의 가연성분, 회분 및 수분함량 등과 같은 쓰레기 특성과 쓰레기소각성간의 상호 연관성은 그림 1과 같으며, 낮은 저위발열량 또는 수분이 과다한 쓰레기를 소각하려면 보조연료의 사용이 필요하다. 일반적으로 쓰레기의 수분함량이 60% 이상일 경우 보조연료의 사용이 필요하며, 저위발열량이 800kcal/kg 이하일 경우에도 보조연료가 있어야 연소를 계속적으로 유지시킬 수 있다. 쓰레기 자체만으로 연소가 가능한(Self Combustible) 영역은 수분함량 60% 이하, 가연성분 25% 이상, 저위발열량 800kcal/kg 이상이므로, 쓰레기 자체성분에 대해서 뿐만 아니라 소각시스템의 구조 및 기능에 대해서도 연구가 필요하다.

4.2 발열량과 연소율

단위 시간당의 쓰레기 처리량은 어느 정도 쓰레기 배출량을 감당할 수 있어야 하므로 도시쓰레기 소각시스템의 설계시는 화격자의 형태, 연소용 공기의 온도, 쓰레기의 발열량 등에 따라 크게 변화하는 쓰레기 연소율을 고려하여야 한다. 연소율은 화격자의 형태와 연소용 공기의 온도에 의해서도 영향을 받지만, 무엇보다도 쓰레기 자체의 저위발열량에 가장 큰 영향을 받으며, 쓰레기의 저위발열량과 연소율의 관계는 선형적으로 변화한다. 슬래그(Slag)의 발생 및 유리의 용융온도, 화격자의 내열온도 등에 따라 연소층의 온도가 제한되므로 최대연소율도 제한된다. 쓰레기소각로 설계시, 열발생률은 상한보다는 하한의 입장에서 특별한 고려를 하고, 양호한 소각효율을 얻기 위해 효과적인 쓰레기 건조수단이 필요하다.

5. 해외 도시쓰레기 소각시스템의 기술 현황

도시쓰레기 소각시스템은 1986년 유럽의 독일 함브르크시의 Rohrstrasses에서 소각로의 폐열을 이용하여 증기를 생산하기 시작한 후 인접 유럽국가들에서 활발하게 건설, 운전되었으며 이후 1900년대 초반에는 영국, 미국 등에서 관심을 갖기 시작하였다. 아시아에서는 1960년대 후반 유럽으로부터 기술을 도입한 일본에서 보급이 활발하게 시작되었다. 현재 소각시스템의 기술은 설계, 제작 및 운전경험이 풍부한 유럽기술에 의해 지배되고 있으며, 미국과 일본 등은 독자적인 소각시스템의 개발을 시도하고 있으나 기본적으로는 유럽 기술에 바탕을 두고 있다.



〈그림 1〉 쓰레기 조성성분과 저위 발열량

5.1 유럽

유럽은 세계적으로 가장 먼저 쓰레기소각열을 이용한 지역으로서 소각열을 이용한 전기 및 증기의 생산은 1896년 독일 함부르크시의 Rohrstrasses까지 거슬러 올라가며, 스위스, 스웨덴, 덴마크, 영국, 프랑스 등에서 크게 활용되고 있다. 유럽지역에서 소각시스템의 건설은 경제적인 측면의 폐열회수보다는 쓰레기공해의 처리에 우선하였기 때문에 1973년의 석유파동이 일어나기 전에 이미 소각시스템의 보급이 거의 포화상태여서 석유파동 이후에도 보급에 큰 변화가 없었다. 현재 세계의 소각시스템 기술은 거의 유럽의 기술이라고 할 정도로 기술적인 우위를 보이고 있으며, 유럽의 주요 제작회사로는 Von Roll(스위스), Brunn & Sorenson(덴마크), VKW(독일), Martin(독일), DBA(독일), Volund(덴마크), Widmer & Earnst(스위스)사 등이 있다.

(1) 보일러

유럽지역의 소각시스템은 기본적으로 대량연소(Mass Burning) 소각방식을 채용하고 있으며, 이는 쓰레기를 사전 처리없이 공급하거나 가구 및 매트리스 등 거대한 쓰레기만 절단하여 이를 화격자 위에서 태우는 방식으로 쓰레기의 특성인 발열량이 증가함에 따라 보일러 본체의 모양도 상당히 변화하고 있다. 보일러 본체는 크게 내화벽돌 노벽 구조와 수냉튜브 노벽 구조로 대별된다.

(가) 내화벽돌 노벽 보일러

이 방식은 열회수효율은 낮지만 건설단가 및 가동 안전성면에서 원등히 유리하고, 특히 지역난방에만 전용하는 소규모일 경우 내화노벽 구조를 매우 저렴하게 건설할 수 있는 이점이 있다.

발열량이 낮은 쓰레기의 경우 벽돌의 축열효과로 인해 연소가 안정되고, 발열량이 높은 경우에 발생하는 측면부의 슬래그(Slag) 발생 등이 자연적으로 방지되는 특징이 있다.

초기의 소각로들은 모두 내화벽돌조를 채택하였으며, 덴마크의 Volund 및 Brunn & Sorenson사 등은

아직도 대부분을 내화벽돌 구조로 제작하고 있다.

(나) 수냉튜브 노벽 보일러

1954년경 Von Roll사가 최초로 수냉로벽을 채택한 이래 Martin, VKW사가 이 형식을 채택하고 있다. 초기에는 비교적 간단한 모양을 2 또는 3통과(Pass)의 구조로부터 후부아치 및 전방부의 아치형상 등이 크게 변하였으며, 최근에는 과잉공기 공급시스템을 설치함으로써 노의 모양은 초기의 형태와 거의 유사한 방식으로 되돌아갔다.

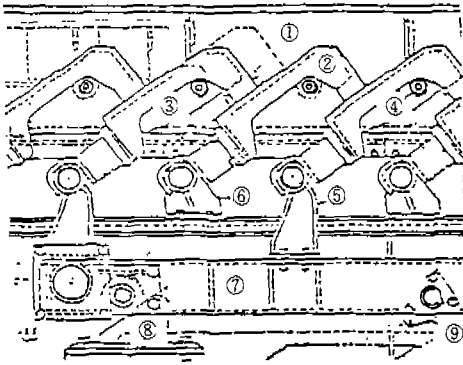
최근에는 Von Roll사 등에 의해서 열회수 패널을 이용하여 연소실에서 빠져 나온 연소가스가 바로 수직으로 배치된 수관들을 가열하는 방식이 개발되었으며, 낮은 발열량의 쓰레기로 고압증기를 생산하기 위하여 과열기(Super Heater)를 증유 또는 석탄으로서 가열하여 저급열로서 고압증기를 생산하는 방식이 초기에 시도되었다.

(1) 화격자(Grate)

화격자는 소각시스템의 핵심으로서 쓰레기를 지지하고 앞으로 보내면서 혼합시켜 연소공기를 균일하게 분배하고 건조, 연소 및 소각시키는 역할을 한다. 초기의 화격자는 석탄 연소시스템의 것을 적용하였으나, 잡다한 고체 폐기물의 원활한 혼합이 필요하게 되어 점차 다른 형태를 취하게 되었다.

화격자의 재질은 일반적으로 내열강인 고 크롬주강을 쓰고 있으며, 화격자는 새로운 표면을 계속적으로 점화 및 공기흐름 방향에 노출시키고, 빨리 타는 부분을 신속히 떼어 주어 연소용 공기가 타버린 부분을 통해 빠져 나가지 못하도록 하기 위하여 매우 다양한 모양으로 움직이도록 되어 있다.

화격자의 연소율(Burning Rate)은 보통 $260\sim 630\text{kg/m}^2\text{h}$ 정도이고, 열발생률(Heat Release Rate)은 $500\sim 1,270\times 10^3\text{kcal/m}^2\text{h}$ 범위이며, 화격자의 연소용 공기는 $140\sim 580\text{mmAq}$ 의 압력으로 공급한다. 각각의 화격자 제작회사들은 매우 다양한 형식들을 적용하고 있으며, 화격자의 모양이나 움직임에 따라 여러 가지로 분류되는 것으로 그림 2는 수평이동식 화격



- | | |
|------------------------|----------------------------|
| ① sealing plate | ⑥ stationary block support |
| ② grate block | ⑦ grate carriage |
| ③ holding bracket | ⑧ guide tracks |
| ④ tension rod | ⑨ cylinder joint shackle |
| ⑤ mobile block support | |

〈그림 2〉수평이동식 화격자의 구조 예

자의 구조 예이다.

(가) 수평이동식 화격자

스위스의 Von Roll사에서 개발한 수평이동식 화격자는 가장 고전적인 형식으로 초기에는 측면으로 고정 및 이동 화격자를 배치하였으나, 그 사이에 끼어드는 쓰레기로 인한 마모에 대처하기 위해 1열씩 고정 및 이동 화격자를 배치하는 형식으로 변경되었다.

화격자는 18° 정도의 각을 가지고 6~12m의 길이로 구성되며, 한 요소(Unit)는 3~6개의 부분(Section)으로 구성되어 2~50ton/h까지 용량을 조정할 수 있다. 표준형식의 요소는 8열의 블록(Grate Block)으로 구성되며, 4열은 고정부분이고 4열은 이동부분으로 구성된다. 화격자는 연소용공기로서 냉각되고 이를 위해 화격자 내부는 안쪽에 4각의 홈이 파져 있고, 재료는 크롬 주강이다.

(나) 역송식 화격자

독일의 Martin사에서 개발한 역송식 화격자는 초기에는 발열량이 낮은 석탄연소를 위해 개발된 형식이었으나, 최근에는 혼합특성으로 인해 잡다한 쓰레기의 소각쪽에 더 많이 쓰여지고 있다.

역송식 화격자는 경사진 화격자면에서 화격자자체를

거꾸로 밀어 올리는 작동을 함으로써 연료는 화격자 위에서 정체시간이 길고 완전한 혼합이 이루어지는 장점이 있으므로, 일정한 교반과 혼합으로 안정된 연소가 가능하고 상방향으로의 운반은 새로 공급된 피소각물체를 활발한 연소면에 노출시켜 연소를 촉진시킨다. 화격자를 몇 개의 부분으로 구분하여 풍압을 조절함으로써 적당한 연소상태를 조절할 수 있으며, 연료층의 두께에 따른 연소상태의 변화가 적고 연소공기가 잘 혼합되어 완전연소가 가능하다.

(다) 로울러식 화격자

독일의 VKW(Vereinigte Kesselwerke AG)사에서 개발한 로울러(Roller)식 화격자는 다른 형식의 화격자에 비해 비교적 최근에 쓰레기 소각용으로 개발된 형식이다. 초기에는 로울러가 4개로 구성되었으나 그 후 6개로 표준화되었으며, 일발주철을 사용하며 부분적으로 내열주강을 쓰고 있다.

로울러는 약 30°의 각도로서 같은 직경의 로울러가 6개 배치되며, 각각의 로울러는 0.5~12회/hr의 조절가 능한 속도로서 회전된다. 연소용 공기는 각각의 로울러에 대해 아래부분에서 별도 조정되어 공급되므로 화격자 표면은 400℃로 유지되며, 약 20,000시간 정도의 연속운전이 가능하다.

(라) 회전 킬른식 화격자

덴마크의 Volund사에서 개발한 회전 킬른식 화격자는 자체는 특징이 없으나 최종부분에 회전킬른(Rotary Kiln)의 후연소실에서 완전한 연소되기 때문에 위생적으로 거의 완벽한 재를 얻을 수 있어 매립지역에서 다른 조치없이 바로 흙 등과 동일하게 매립할 수 있는 유일한 방식이다. 화격자는 3단 정도로 나누어져 계단식으로 떨어지게 만들어 혼합이 잘되도록 하고 있으며, 다른 화격자와 마찬가지로 건조, 연소후 소각이 되도록 하고 있다.

(마) 반회전식 화격자

덴마크의 B & S (Brunn & Sorenson)사에서 개발한 반회전식 화격자는 축을 중심으로 반회전운동을

반복하여 쓰레기가 혼합되면서 내려가는 형식이며, 축의 길이가 제한되지만 중형 규모까지는 상당히 저렴하게 제작 및 운전이 가능하다. B & S사는 엔지니어링 회사의 성격이 강한 제작업체이며, 이 형식의 화격자는 대규모 용량보다는 중소규모의 용량에 적합하다.

(바) 수평식 화격자

스위스의 W & E (Windmer & Earnst)사에서 개발한 수평식 화격자는 종래의 계단경사식 화격자(Gravitational Grate)대신 수평식 화격자(Double Mothin Overthrust Grate)를 채택하고 있다.

이 형식의 화격자는 중간에 고정화격자를 두고 앞뒤에 구동화격자가 전·후 서로 반대방향으로 교호 작동하여 쓰레기의 효과적인 교반뿐만 아니라 소각중 쓰레기가 항상 적절한 회전을 유지한다. 따라서, 쓰레기 조성에 관계없이 최적의 연소상태를 유지하고 계단식 화격자와 달리 쓰레기의 진행상태를 조절할 수 있고, 쓰레기가 미처 타지 않고 굴러 떨어지는 현상과 이로 인한 노내의 먼지 발생을 예방할 수 있으며, 하수 슬러지가 혼합된 반죽(Paste)상의 쓰레기 소각에도 적합하다.

5.2 미국

미국은 1902년경부터 쓰레기 소각공장의 건설을 시작하였으나, 지역특성상 손쉽고 경제적인 매립방법에 중점을 두어 소각시스템은 크게 발전하지 않았다. 주로 매립방법에 의존하여 유럽에 완전히 뒤지게 된 기술적인 차이를 극복하기 위하여, 1980년대 이후부터 미국정부, DOE의 지원으로 W(Westinhouse)사, ABB-CE(Combustion Engineering)사 등에서 연구가 활발하게 추진중으로 기존의 화격자형식은 물론, RDF시스템 등과 같은 새로운 기술을 개발하고 있다.

(1) RDF시스템

고체연료화(Refuse Derived Fuel : RDF)시스템은 미국 ABB-CE사에서 개발한 것으로 쓰레기를 처리하여 석탄용 보일러에 사용하기 위한 것이었으나, 일반 석탄보일러에는 슬래그(Slagging) 및 오염(Foul-

ing) 문제가 발생되어 최근에는 RDF설비와 전용연소보일러를 연계시켜 연소시키는 방식으로 전환되고 있다.

반면, Babcock & Wilcox사는 RDF와 비슷한 개념으로서 쓰레기를 간단하게 한번 정도 파쇄(Shredding)한 후, 이를 공기로 분리시켜 그대로 전용보일러에서 연소시키는 시스템을 개발하였으며, 이 시스템은 RDF보다 투자비가 적게 들고 운전비용도 절감되며, 전용보일러를 설치할 경우 RDF보다 유리한 점이 많다.

(2) SMI시스템

소형 모듈식 소각로(Small Modular Incinerator : SMI)시스템은 공장조립한 것을 그대로 설치하는 형식으로 소형시스템에 적합하며, 1960년대 초반에 미국에서 개발하였으나 초기에는 영국에서 사업을 시작한 시스템이다.

SMI는 1차 연소실에서 이론공기량보다 적게 공기를 공급하는 공기제어계통을 설치하고 이것에 의해 연소되는 열로서 주변의 쓰레기들을 가열하여 건류작용을 일으켜, 이에 의해 발생된 가스가 2차 연소실에서 보조연료와 함께 연소되는 형식이다. SMI는 규모가 작고 간단한 설비만으로도 제작이 가능하기 때문에 미국내에는 Consumat사를 비롯하여 20여개사의 제작업체가 있다. SMI는 분진발생이 적어 집진장치를 설치하지 않아도 EPA(Environmental Protection Agency) 규정을 만족할 수 있는 형식이다.

5.3 일본

일본의 쓰레기 소각시스템은 1960년대 후반부터 보급되기 시작하였으며, 초기단계에서는 자체적으로 국내기술개발을 시도하였으나, 그후 많은 유럽기술을 도입하여 유럽의 주유 제작업체는 모두 일본업체와 제휴하고 있으며, 가와사끼, 다꾸마, 구보다철공 등 일부회사가 기술제휴없이 자체기술로써 제작하고 있다. 1970년대의 고도 경제성장을 이룩한 뒤 공해문제에 대해 본격적인 투자를 시행하여 현재는 세계 제일의 쓰레기 소각시스템 보유국이 되었다.

(1) 화격자

일본의 가와사끼중공업은 유럽의 DBA(Deutsch Babcock AG)사, NKK(Nippon Kokan)사는 Volund사, 미쓰비시중공업은 Martin사, 히다찌조선은 Von Roll사, 산기엔지니어링은 W & E사와 각각 기술제휴를 맺고 있으나, 다투마사 등과 같은 일부회사는 자체적인 제작경험과 운전경험을 통해 상당한 기술축적이 되어 있어 유럽과의 기술제휴없이 독자적으로 화격자 및 소각로본체 등을 제작할 정도의 기술수준을 갖고 있다.

(2) 수냉 회전로

수냉 회전로 화격자는 일본이 세계 최초로 건설하였으며, 이후 미국에서 건설된 형식으로 미국의 Teledyne사와 일본의 IHI사가 각각 기술을 개발하고 있다.

이 시스템은 회전수냉로에 의해 건조 연소하는 형식의 롤러(Roller)를 연소실 전방부에 배치하여 이것에 의해 쓰레기를 잘 혼합하여 연소시키고, 연소가스 후반부에 배치된 열교환부에 의해 에너지를 회수하는 방식이다.

이 형식은 전체 규모가 상당히 제한되는 점은 있으나 과열부가 없으므로 특수재료가 필요없다. 쓰레기의 발열량이 극히 낮은 경우, 연소실 외부에서 빼앗는 열량이 상당하므로 안정된 연소를 위하여는 쓰레기를 전처리하거나 기타의 방법에 의해 고발열량으로 만들어 투입하여야 한다.

(3) 유동층 연소로

유동층연소(Fluidized Bed Combustion : FBC)방식은 일본이 가장 활발히 연구하고 있으며, 니혼제은, 가와사끼, NKK, 구보다사 등이 자체 기술개발을 통해 실용규모의 소각로를 제작, 운전 또는 건설중에 있어, 현재로서는 일본이 세계에서 가장 앞서 있다. FBC방식은 저발열량의 쓰레기 소각에 상당히 유리한 점이 많으나, 아직 기술이 완전히 개발되어 있지 않다. FBC방식중의 상당수는 쓰레기를 하수 슬러지와 병행하여 연소시키는 경우가 많아 일반적인 소각로와는 약간의 적용상 차이가 있다.

6. 국내 도시쓰레기 소각시스템의 기술 현황

도시쓰레기의 대부분을 매립방법에 의존하고 있던 우리나라는 1980년대 중반에 쓰레기의 수집, 처리, 운반 및 매립 등에 따른 문제점의 해결과 폐에너지원의 재활용을 위하여 1986년에 목동 쓰레기소각장을 국내 최초로 건설하여 상업운전을 시작한 이후, 현재는 주요 도시와 신도시에 집중적으로 건설을 하고 있다.

현재 국내에서 운전 또는 건설중인 도시쓰레기 소각시스템의 대부분은 대량연소를 위한 화격자 연소방식으로, 거의 외국의 기술에 의존하여 건설하고 있는 실정이다.

이러한 상황에서 쓰레기 소각시스템의 건설에 참여하고 있는 대다수의 회사들은 관련 기본기술을 보유하고 있지 않으면서 환경산업에 관한 기대감으로 참여하고 있어, 기술개발 및 자립측면에서 여러 가지 문제점을 내포하고 있는 상황이다. 참고로 국내 도시쓰레기 소각시스템의 건설 및 운전현황은 표 5와 같으며, 이외의 많은 지역에서도 도시쓰레기 소각시스템의 건설을 계획중에 있다(표 5 참조).

7. 도시쓰레기 소각시스템의 계통구성

도시쓰레기 소각시스템은 쓰레기의 전처리 정도에 따라 대량연소(Mass Burning), RDF(Refuse Derived Fuel) 방식 등이 있고, 소각방식으로는 화격자(Stoker), 유동층(Fluidized Bed), 회전 킬른(Rotary Kiln) 방식 등이 있으며, 회수된 폐열에너지의 이용방식에 따라 온수 또는 증기생산, 전기생산, 열병합발전방식 등이 있다. 도시쓰레기 소각시스템은 쓰레기의 특성, 회수열의 사용목적 등에 알맞는 소각시스템을 채택하여야 하며, 같은 목적의 시스템이라도 제작회사 별로 설비의 특성이 다르다.

우리나라의 도시쓰레기 실정에 적합하며 국내에서 건설 및 운전실적이 있는 화격자를 사용하는 대량연소 소각방식을 기본으로 한, 도시쓰레기 소각시스템의 계통구성 내용은 다음과 같다.

〈표 5〉 국내 도시쓰레기 소각시스템의 건설 및 운전현황

| 회 사 명 | 기 술 도 입 선 | 소각시스템 건설 및 운전현황 | | |
|---------------|-----------------|-------------------|--|---|
| | | 지 역 | 형식 및 용량(Ton/Day) | 건 설 기 간 |
| (주) 대 우 | Hitachi-Zosen | 목 동 대 구 중 동 | 화격자식, 150×1기 화격자식, 200×1기 화격자식, 200×1기 | '84.10~'86.12 '90. 8~'92.12 '93. 1~'94. 8 |
| 한 라 중 공 업 (주) | Volund | 부 산 창 원 | 화격자식, 200×1기 화격자식, 200×1기 | '93. 1~'94.12 '93. 1~'94. 8 |
| 롯데기공(주) | Kuboda | 의정부 | 화격자식, 25×2기 | '83.12~'85. 4 |
| 럭키개발(주) | Widmer & Earnst | 대전 | 화격자식, 100×1기 | '88.11~'92.12 |
| 쌍용건설(주) | Mitsui-Zosen | 성남 | 유동층식, 50×2기 | '90. 5~'93. 6 |
| 동부건설(주) | Steinmuller | 평촌 | 화격자식, 200×1기 | '91.11~'93. 7 |
| 선경건설(주) | Seghers | 목동 | 화격자식, 200×2기 | '92.12~'94.12 |
| 삼성중공업(주) | Mitsubishi | 일산 | 화격자식, 300×2기 | '92.12~'95. 5 |
| 현대중공업(주) | Deutsch Babcock | 노원 | 화격자식, 400×4기 | '92.12~'95. 6 |

7.1 소각 공정

수거된 도시쓰레기는 계중실(Weigh Bridge)에서 계량된 후 쓰레기 반입실(Reception Hall)의 쓰레기 투하문(Refuse Dumping Door)을 통해 쓰레기 병커(Refuse Bunker)로 운반하여 저장한다. 쓰레기 반입실의 차량출입구 상부에는 공기 커튼(Air Curtain)을 설치하여 쓰레기 반입실내의 분진과 악취가 외부로 유출되는 것을 방지한다. 쓰레기 병커에 저장된 쓰레기는 크레인에 의해 혼합되어 균질화되며, 균질화된 쓰레기는 크레인에 의해 투입호퍼(Charging Hopper)를 거쳐 쓰레기 공급기(Refuse Feeder)에 의해 화격자(Grate)내로 공급된다.

화격자는 투입된 쓰레기를 연속적으로 건조, 연소 및 소각시킨다. 쓰레기는 일차 공기에 의해 건조되어 연소용 화격자에서 연소되며, 소각용 화격자에는 연소용 화격자에서 이송되어온 쓰레기 연소물을 완전히 소각시켜 재처리계통으로 보낸다. 소각로에는 경유 연소장치를 설치하여 소각로의 시동 및 정지시 또는 연소가스 온도가 낮을 경우 연소실 온도를 조절한다.

화격자에서 소각된 재(Ash)는 재 추출기내의 수증기로 떨어져 냉각, 소화 및 비산을 방지하며, 재추출기에 의해 재 진동컨베이어(Vibrating Conveyor)에 실

려 재 병커로 이송된다. 재 진동컨베이어 출구에는 재 투사기가 설치되어 재를 병커내에 넓게 확산시킨다. 화격자 사이로 떨어지는 작은 크기의 재는 리들링 호퍼(Riddling Hopper)와 재 낙하관을 통해 드랙 체인컨베이어에 의해 재 병커로 이송된다. 재 병커로 이송된 재는 재 크레인(Ash Crane)에 의해 차량에 실려 반출된다.

폐열 회수보일러는 강제 또는 자연순환 형식이 사용되며 보일러 드럼, 전열관, 가스통로부로 구성된다. 보일러에는 취출(Blow Down) 설비, 보일러 및 절탄기 절연면 청소를 위한 제매기(Soot Blower), 연소가스 폐열을 회수하기 위한 절탄기(Economizer) 등이 설치된다. 절탄기를 통과한 연소가스 중의 염산, 황산화물 등의 유해물질을 감소시키기 위해 연소가스 정화설비 및 전기집진기가 설치된다.

포집된 유해물질의 반응생성물의 일부는 반응로 바닥으로 배출되고 나머지는 전기집진기에서 비산재와 함께 포집된 후, 재처리계통에 의해 재병커로 이송되어 처리된다.

연소용 1차 공기는 강제 압입 송풍기(Forced Draft Fan)에 의해 쓰레기 병커로부터 흡입되어 공기에열기에서 예열된 후 연소실 화격자 아래에 설치된 리들링 호

퍼를 통해 화격자로 공급된다. 쓰레기의 비산 입자 및 불완전 연소가스를 다시 연소시키기 위한 2차 공기는 2차공기송풍기로 보일러전물 상부의 공기를 흡입하여 소각로내에 공급한다. 유인 배출송풍기(Induced Draft Fan)로 굴뚝입구에 보내진 연소가스는 굴뚝을 통해 대기로 방출된다. 각종 폐수를 처리하기 위한 폐수 처리설비, 사무실, 제어실, 전기실의 환기 및 공기조화설비, 화재방호설비, 급탕 위생설비, 조명설비 등이 설치된다. 전반적인 도시쓰레기 소각시스템의 구성내용은 그림 3 과 같다.

7.2 계통 설계내용

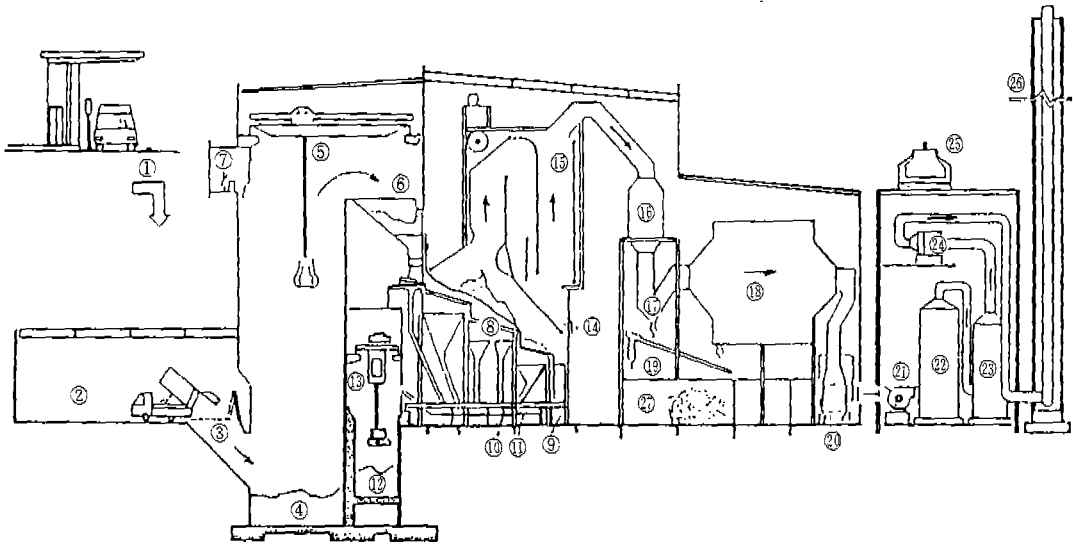
(1) 쓰레기, 재 및 슬래그처리계통

쓰레기 운반차량에 적재된 도시쓰레기는 계량후 밀폐된 쓰레기 병커에 투입된다. 쓰레기 크레인으로 잘 섞은 후, 쓰레기를 담은 호퍼(Hopper)로 운반되어 쓰레기 공급기에 의해 소각로로 보내진다. 쓰레기를 담은

호퍼는 쓰레기에 의해 밀봉되어 연소가스가 소각로로부터 호퍼를 통하여 소각로 외부로 새는 것을 막는다. 소각로에 들어가는 쓰레기는 가열된 공기와 복사열에 의해 건조되어 연소시켜 정상적으로 완전히 소각될 수 있도록 한다. 소각후 배출된 재 또는 슬래그(Slag)는 물에 저장되고 진동컨베이어(Vibrating Conveyor)까지 재 추출기(Ash Extractor)에 의해 운반된다. 연소가스 중에 포함된 비산재(Fly Ash)는 보일러를 통과하면서 제거된다. 재와 슬래그는 슬래그 투사기(Slag Throwing Machine)를 지나서 재병커(Ash Bunker)에 계속 적재되며, 진동컨베이어 끝부분에 설치하여 컨베이어 출구 밑에 재가 쌓이는 것을 방지한다. 물로 채워진 리들링 호퍼를 통과하여 걸러진 찌꺼기는 리들링 호퍼를 통과하여 적재된다.

(2) 연소공기 및 2차공기 공급계통

연소공기(Combustion Air)는 쓰레기 병커 상부를



- | | | | |
|--------------|--------------|---------------|------------------|
| ① 계중기 | ⑧ 연소 화격자 | ⑮ 폐열 보일러 | ⑳ 1차 습식 연소가스조정장치 |
| ② 쓰레기 반입실 | ⑨ 재 추출기 | ⑯ 절단기 | ㉑ 2차 습식 연소가스조정장치 |
| ③ 쓰레기 투입문 | ⑩ 재 진동컨베이어 | ⑰ 전식 연소가스조정장치 | ㉒ 가스 혼합실 |
| ④ 쓰레기 병커 | ⑪ 화격자 재 컨베이어 | ⑱ 전기집진기 | ㉓ 냉각탑 |
| ⑤ 쓰레기 크레인 | ⑫ 재 병커 | ㉒ 분진운반 컨베이어 | ㉔ 굴뚝 |
| ⑥ 쓰레기 투입호퍼 | ⑬ 재 크레인 | ㉓ 유인 송풍기 | ㉕ 중앙 제어실 |
| ⑦ 쓰레기크레인 제어실 | ⑭ 보조 연소용버너 | ㉔ 가압 송풍기 | |

〈그림 3〉 도시쓰레기 소각시스템의 계통구성

통해서 공급되며, 쓰레기 뱅커내는 약간 부(-)압으로 유지하여 냄새 또는 먼지가 외부로 배출되지 않도록 한다. 연소공기는 연소효율을 높이기 위해 열교환기로 예열시킨 후 소각로 밑에 위치한 리들링 호퍼를 지나 연소기에 공급된다. 연소공기는 여러 개의 덕트로 나뉘어 공급되며 화격자 및 리들링 호퍼에서 각각 취입되며, 각 취입 덕트에는 수동 또는 자동으로 조절 가능한 댐퍼를 설치한다. 연소용 공기계통은 독립적인 연소장치로 구성하여 적절한 연소가가능하도록 한다. 2차 공기는 연소기내의 온도를 조절하고, 연도가스의 완전 연소가 가능하도록, 공기의 난류화와 충분한 산소공급을 통하여 가스를 최대로 연소시킨다. 2차 공기는 보일러전물 상부에서 취입되어 연소실 출구의 2차 공기노즐을 통하여 소각로에 공급되며, 연소기내의 온도를 조절하고, 연도가스의 완전 혼합과 연소를 확실하게 한다.

(3) 연소가스 배기계통

소각로부터 나온 가열된 연소가스(Flue Gas)는 보일러 출구에서 약 230°C 정도로 냉각되어 보일러를 지나도록 하여, 전기집진기(Electrostatic Precipitator)의 부식을 방지한다. 전기집진기는 연소가스에 포함되어 있는 먼지, 비산재 등 고체입자를 허용치 이내로 제거한다. 전기집진기 앞에는 연소가스를 청정하게 하는 연소가스처리설비인 반응로를 설치하여 이곳에서 소석회를 분사시킨다. 염화수소가스는 소석회와 직접 반응하여 제거되며, 반응 부산물과 반응이 안된 소석회는 먼지나 비산재와 같이 전기집진기에 의해 포집된다. 처리된 연소가스는 유인 배출송풍기에 의해 대기로 배출되거나 습식 연소가스처리설비를 거쳐 대기로 방출된다.

(4) 증기 공급계통

보일러에서 생성된 증기는 공급모관을 통하여 열병합 발전소(Cogeneration Plant) 또는 열수요처까지 공급된다. 또한, 증기는 매제기, 증기식 공기예열기, 전기집진기 호퍼난방, 급수탱크 및 탈기기 난방과 습식 연소가스처리 설비에 사용된다. 증기는 각 시스템에서 열교환된 후 응축되며, 응축수는 탈기기와 보일러 급수

탱크로 공급된다.

(5) 응축수 및 급수계통

탈기기는 급수탱크 상부에 설치하며, 주 증기배관이 나 감압밸브로부터 증기를 공급받도록 하며, 열수요처 또는 열병합 발전소로부터 회수된 응축수는 탈기기를 거쳐 급수탱크로 공급된다. 공기 예열기에서 나온 증기는 다시 탈기기와 급수탱크로 되돌아 가며, 탈기기에서 배출된 증기나 가스는 대기로 방출된다. 급수의 수위가 일정 이상으로 상승하면, 급수는 자동적으로 플래시 탱크(Flash Tank)로 보내지며, 플래시 탱크로부터의 배수는 배수탱크에 모이게 되고, 배수 공급펌프에 의해서 탈기기로 공급된다.

보일러 급수는 펌프에 의해 급수탱크로부터 공급되며 스케일(Scale)로 인하여 보일러, 터빈, 응축수 배관이 부식 또는 막히는 것(Clogging)을 방지하기 위하여 보일러 드럼이나 응축수 통로에 화학약품이 주입된다. 급수용으로는 하이드라진(Hydrazine)과 암모니아 탈기기 앞의 응축수 배관에 공급되며, 보일러용으로는 제3인산나트륨(Trisodium Phosphate)과 가성소다가 보일러 드럼에 주입된다. 응축수 드럼내의 물은 요구되는 수질을 유지시키기 위해서 보일러 드럼으로부터 끊임없이 유입되며, 보일러 드럼으로부터는 계속적으로 취출된다.

(6) 순수, 소내용수 및 냉각수계통

순수(Demineralized Water)는 보일러, 제 3 인산나트륨 탱크, 가성소다 탱크, 하이드라진 탱크, 암모니아 탱크 등에 공급된다. 소내용수(Industrial Water)는 연소가스처리계통, 보일러전물, 쓰레기반입실, 쓰레기 배수여과계통, 쓰레기공급기 살수, 재 배수운송펌프실, 재 추출기, 리들링컨베이어 등에 공급되며, 비상시에는 냉각수로 사용된다. 냉각수(Cooling Water)는 복수기, 유인 배출송풍기, 시료냉각기, T.V. 카메라, 차단문(Cutoff Gate), 보일러급수펌프, 화격자 구동장치, 재 추출기 구동장치, 쓰레기 투입문 구동장치, 공기 조화계통, 쓰레기투입 슈트 자켓(Chute Jacket), 호퍼자켓 등에 공급되며, 비상시에는 소내용수계통으로

부터 물을 공급받는다.

(7) 쓰레기 배수처리계통

쓰레기병커내 쓰레기로부터의 배수는 여과기를 거쳐서 쓰레기 배수조에 모임, 배수에 고인 폐수는 자동적으로 여과장치로 운반된다. 배수내의 고형폐기물은 여과장치에 의해 제거되며, 여과된 배수는 쓰레기 배수 탱크(Refuse Drainage Tank)로 운반되고, 걸러진 고형 폐기물은 자동적으로 쓰레기병커로 다시 투입된다. 쓰레기 폐기물은 가압되어 쓰레기 배수펌프를 지나 쓰레기배수 주입기(Drainage Injection Equipment)로 운반되어 연소기에 투입된다. 쓰레기 배수의 냄새는 온도를 높여 분해 제거한다.

(8) 계측 및 소내 공기계통

계측 공기계통(Instrument Air System)은 연소가스처리계통(Splitting Machine, Ca(OH)₂ Silo환기 및 필터 등), 비산재 운송, 쓰레기배수 주입기 등에 필요한 공기를 공급한다. 소내 공기계통(Plant Air System)은 쓰레기 투입호퍼 및 슈트 레벨측정, 유인 배출송풍기, 전기집진기실, 보일러실, 리들링 컨베이어, 쓰레기 투입호퍼, 연소가스처리계통(Bag Splitting Machine Room) 등에 필요한 공기를 공급한다. 밀봉 및 정화공기계통(Seal & Purge Air System)은 강제 배출송풍기로부터 공급된 공기를 매제기, 쓰레기배수 주입기, T.V. 카메라 등에 공급한다.

(9) 디젤 연료유 연소계통

디젤 연료유는 디젤연료유 운송펌프에 의해 디젤연료유 공급펌프를 통하여 소각로 벽과 보일러 관벽에 있는 각각의 주버너(Burner)에 공급되며, 파일럿 펌프(Pilot Pump)를 통하여 각각의 주 버너의 파일럿 버너까지 공급된다. 파일럿 버너는 소각로의 연소가스가 일정온도(850℃ 정도) 이하로 되면 자동으로 작동된다. 디젤 연료유의 압력은 압력 조절밸브와 압력 스위치에 의해 조절된다. 파일럿 펌프에 의해 고압으로 된 디젤연료유는 주 버너의 점화용 버너역할을 하는 파일럿 버너의 전극에 의해 점화된다.

(10) 연소가스 처리계통

연소가스 정화설비는 소각로로부터 배출되는 연소가스에서 HCl, SOx 등을 감소시키기 위해 설치한다. 건식연소가스 정화설비는 분말상의 소석회(Ca(OH)₂)를 급속혼합실로 불어 넣는다. 급속 혼합실은 보일러 출구와 집진기 사이의 연도의 일부분을 구성하며, Ca(OH)₂와 HCl가스, SOx의 반응을 용이하게 한다. 화학반응은 전기집진기 입구측과 직접 연결되는 반응로내에서 일어나며, 반응결과 생성물의 일부는 반응로 바닥에서 배출되고 나머지는 비산재(Ash)와 함께 전기집진기에 의해 포집된다.

Ca(OH)₂와 HCl 또는 SOx 사이의 반응은 고체상이 유체상으로 바뀌는 반응으로서, 정격효율을 얻기 위해 충분한 양의 Ca(OH)₂를 불어 넣는다. 연소가스 정화설비의 Ca(OH)₂를 사일로(Silo)안에 적재하기 위해 Ca(OH)₂ 포대를 개봉하는 개봉계통(Depack System), 분말Ca(OH)₂를 공기압으로 이송하여 연소가스 내로 주입하는 Ca(OH)₂ 운반시스템, 연도내 혼합구역과 전기집진기앞 반응구역으로 구성되는 반응로, 반응 생성물을 비산재와 함께 공기압으로 반응생성물 및 비산재 사일로로 운반하고 수분을 추가하여 재병커로 배출시키는 반응생성물 운반시스템 등으로 구성된다.

(11) 분진처리계통

전기집진기는 2개의 독립된 처리구역으로 구성하여 하나의 구역이 기능을 상실하더라도 나머지 구역이 계속 운전되도록 한다. 방전전극(Discharging Electrode)은 부식 및 해머링(Hammering)에 충분히 견딜 수 있으며 쓰레기 소각설비에서 사용실적이 많은 고장력강을 상용한다. 수전전극(Collecting Electrode)은 평판형으로 설계하여 높은 집진효율, 포집분진의 재유입 방지, 장기간 운전시 열변형의 최소화 등이 가능하도록 한다.

각 집진기실의 바닥은 호퍼를 형성하여 체인컨베이어(Chain Conveyor)에 의해 먼지가 배출되도록 하며 집진기로부터의 유효열부사가 크도록 개구면적을 넓게 함으로써 집진된 분진을 고온으로 유지하여 호퍼 가열용 증기소비량을 감소시킨다.

(12) 계측 및 제어계통

계측 및 제어계통은 쓰레기 소각시스템을 원활히 운전하기 위하여 각종 현장계기, 계기반, 중계 단자반, 제어반 및 폐쇄회로 텔레비전 감시설비 등으로 구성된다.

중계 단자반은 계전기실에 설치되며 특수한 경우를 제외하고 모든 신호 및 연계회로는 중계 단자반을 경유한다. 계기반 및 제어반은 중앙제어실에 배치되며 주요 계기 및 조작 스위치를 설치하여 소각시스템의 주요 공정을 감시 조작한다.

계측계통은 공정용 계기, 계기반, 제어반, 폐쇄회로용 모니터, 자동밸브 및 기타 현장계기 등으로 구성되며, 모든 계기는 신호전송 시간의 지연을 방지하고 운전상의 안정도를 높이기 위하여 전자식 계측기를 사용한다.

계기반은 소각시스템의 BOP와 기타설비용으로 구분하여 설치한다. 제어계통은 소각시스템의 BOP 및 기타설비를 각각 담당하는 2개의 제어반, 쓰레기소각을 전담하는 자동 연소제어반 등으로 구성된다. 쓰레기 소각시스템의 제어회로는 소각설비, 보일러, 기타설

비용으로 구성되며, 자동 연소제어반의 전면은 단일회로 디지털제어기 수동조정기(One Loop Digital Controller Manual Setter)기록계 및 자동연소계통 경보기 등을 설치하여 자동연소 제어상태를 감시할 수 있도록 한다.

(13) 전력계통

전력계통은 고압의 수전전압을 감압시켜 동력용전원, 전열 및 조명용 전원과 계장용 전원으로 구분하여 소내에 공급한다.

정상 전력공급계통은 소내의 고압 배전반으로부터 수전하여 소각로 건물내의 부하센터(Load Center)에서 저전압으로 변환하여 대용량 기기와 상용부하로 공급하는 전동기 제어반에 공급한다. 비상 전력공급계통은 소내에 설치된 비상 발전기에 연결된 비상부하 배전반으로부터 수전하여 전기실에 설치된 비상용 전동기 제어반(Emergency MCC)으로 공급된다.

비상용 전동기제어반은 정상 전동기제어반으로부터 연결차단기(Tie Breaker)를 통하여서도 전원을 공급

원자력발전의 경제성은 앞으로도 지속

(자료 : 원자력발전)

발전원별 경제성은 이용률별로 달라지는데 이용률 20~30%에서는 LNG가스발전이, 이용률 40~50%에서는 석탄발전이, 이용률 60% 이상에서는 원자력발전이 가장 경제적인 발전원으로 나타났다.

발전원별 경제성 비교

(단위 : 원/kWh)

| 이용률 발전원별 | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 75% | 80% |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 원자력(100만 kW) | 75.49 | 57.66 | 46.96 | 39.82 | 34.73 | 32.69 | 30.90 |
| 석탄(50만 kW) | 65.72 | 52.74 | 44.94 | 39.75 | 36.04 | 34.56 | 33.26 |
| LNG(40만 kW) | 58.42 | 51.53 | 47.40 | 44.64 | 42.67 | 41.89 | 30.86 |
| 석유(50만 kW) | 63.23 | 52.95 | 46.77 | 42.66 | 39.72 | 38.55 | 37.52 |

받도록 하며, 정상운전시에는 연결차단기를 개방(Open)하여 사용하지 않고 비상 전력공급계통의 고장시에만 사용한다.

맺음말

도시에서 생활쓰레기로 인하여 발생하는 제반 문제를 해결하고 폐기되는 자원 및 에너지를 효율적으로 회수 및 활용하기 위한 여러 가지 방안을 검토하였다.

도시쓰레기의 처리방법은 지역성 특성, 쓰레기 성분과 처리후의 이용성 등을 고려하여 한 가지 이상의 방법을 최적으로 선택하여 혼용하는 것이 바람직하며, 이 중에서 소각법이 가장 널리 사용되고 있다. 유럽은 화력자에 의한 대량연소(Mass Burning) 소각방식에 대해서 세계적으로 가장 우수한 기술과 경험을 보유하고 있으며, 미국은 대량연소 소각방식보다는 고체연료화

(RDF) 시스템 및 소형 모듈식 소각로(SMI) 방식을 개발하여 운전중이고, 일본은 유럽에서 도입한 대량연소 소각기술을 바탕으로 수냉회전로 및 유동층연소(FBC) 소각기술을 개발중에 있다.

현재 우리나라 도시쓰레기의 조성성분 및 발열량을 고려할 때 우리나라 환경에 알맞는 도시쓰레기 소각시스템은 화력자에 의한 대량연소방식이 비교적 효율적인 것으로 판단되며, 소각시스템을 구성하고 있는 부계통중 쓰레기처리계통과 분진처리계통의 설계시에는 환경적인 측면에서의 특별한 고려가 필요하다. 화력자에 의한 대량연소 소각기술 이외에 유동층 연소, 고체연료화 시스템 기술 등과 같은 신기술의 개발에도 관심을 기울여야 한다.

따라서, 전세계적으로 환경보호 및 에너지 절약측면에서 도시쓰레기 소각시스템의 건설이 활성화되고 있으므로 우리나라도 이에 대비한 신기술을 준비하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국동력자원연구소, "소각로를 이용한 집단에너지 공급 연구(KE-83-17)", 1983. 12
2. 동력자원부, "폐열 이용을 위한 소규모 산업폐기물 소각시스템 개발(89-D201-105DP)", 한국기계연구소, 1990. 2
3. 한국기계연구원, "기계와 재료", 제6권 제1호(통권 19호). 1994. 봄
4. Suh Yong Lee, "Incineration-An Efficient and Environmentally Acceptable Way to Dispose of municipal and Hazardous Solid Waste," W
5. ABB-CE, "ABB Resource Recovery Systems"
6. KSWES, "Proceedings of The 5th International Symposium on Solid Waste Management Technology", 1991. 9
7. 한국폐기물학회, "한국폐기물 학회지, 제1권 1호(84. 12), 제2권 제1호, 제3권, 제1호, 제5권, 제1, 2호, 제6권, 제1, 2호, 제7권, 제1, 2호, 제8권, 제1호('91. 5)".
8. 에너지관리공단, "목동지구 집단에너지공급시설중 쓰레기 소각공장".
9. J.W Booty, "Olmsted County Waste-to-Energy Facility", International District Heating & Cooling Association Conference, 1986. 6
10. J. V Gilst, L. G Lecoultre, "Experience of A Waste-Incineration Plant with D-H Network (Co-Generation)", 3rd International Symposium on Turbomachinery, Combined-Cycle Technologies & Cogeneration, 1989. 8
11. M. Nishino, M. Wada, "The Community Energy System in The Tokyo Shibaura District", 2nd International Symposium on Turbomachinery, Combined-Cycle Technologies & Cogeneration, 1988.8
12. D. Gerbard, "Refuse Incineration and Pelletisation", Energy Digest, 1981. 8
13. N. Nedergaard, "Danish District Heating and Energy Policy : Energy Savings and Improvement of Environment", Revue De L'Energie(Vol. 37. No. 379), 1986. 1
14. Argonne National Lab., "Cogeneration and Integrated Energy/Utility Systems", National Consumer Research Institute, 1977. 6