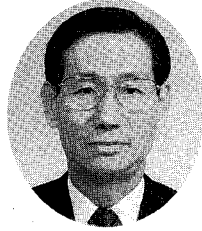


# 소각로 기본설계 및 선정방법

〈3〉



金炳彩

〈주〉진도엔지니어링부사장, 환경(대기)기술사

## 목 차

- I. 서 론
- II. 원단위 조사
  - 1. 발생량 조사
  - 2. 발열량 조사
  - 3. 공기량 및 가스량 산정
  - 4. 오염물질 예측
  - 5. 조내온도 산정
- III. 연소이론
- IV. 소각로 선정 요령
  - 1. 폐기물 대상 선정
  - 2. 가동시간 대상 선정
- V. 소각로 설계
  - 1. 유동층 소각로
  - 2. Stoker소각로
  - 3. 진류식 소각로
- VI. 방지시설
  - 1. Ventury Scrubber
  - 2. Packed Tower
  - 3. Bag Filter
- VII. 결 론

## V. 소각로 설계

### 1. 유동층 소각로

#### 1) 원리

반응기 하부에 있는 다공분산판으로 연소 공기를 주입하면 분산판 위의 불활성 매체(모래)가 유동을 시작한다.

이때 반응기내의 압력강하와 층 면적당 고체의 무게가 같아지면 이때 고체들이 상호움직임을 갖기 시작한다.

이 상태를 최소 유동화 상태라고 하며 이때의 기체속도를 최소 유동화 상태라고 한다. 이후 계속적으로 유속을 증가시키면 압력강하는 거의 일정(그림, 3-1)하게 유지되지만 고체층이 팽창하면 고체들의 거동은 전적으로 액체와 같은 특성을 보이기 시작한다. 아울러 층은 큰 공극의 형태로 통과하는 기체들이 출현하여 이를 기-액계에서와 유사하게 기포라고 부른다. 이 기포의 거동은 층을 매우 격렬하게 끓는 액체와 같은 형상으로 만든다. 이러한 성상을 기포유동층(Bubbling Fluidized Bed)이라고 한다.

그림 3-2에서 (A-B)구간은 고체입자층을 유동화시키기 위하여 공기속도를 점차 증가시키

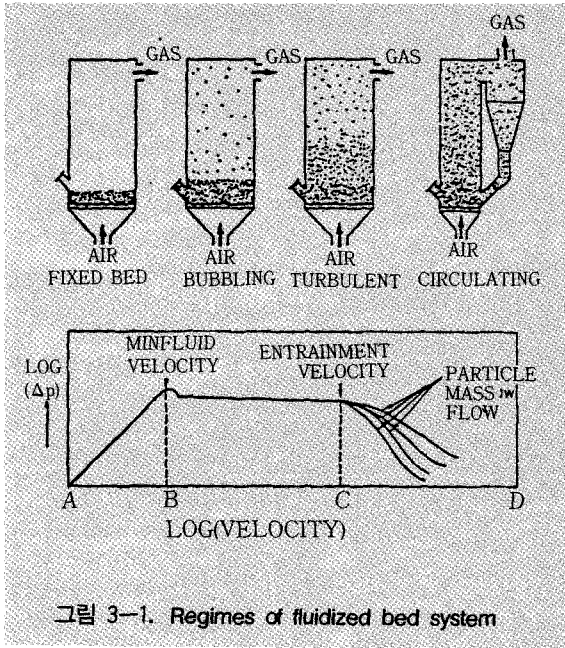


그림 3-1. Regimes of fluidized bed system

면 공기압력 강하( $\Delta P$ )로 점점 증가하다가 어느 점(B)에 이르러 입자의 비등조건이 만족되면서 유동층이 형성되기 시작한다. 이 구간에서 입자층의 높이와 밀도는 일정하게 유지되며 고정층(Fixed-Bed)이 된다.

B-C 구간에서는 유동층이 형성된 후 공기압력 강하는 공기 유속 증가에 비하여 거의 일정하게 유지되며 비등상태가 계속된다. 이구간에서 나타나는 특징은 거품(Bubbling)현상이며 이 구간을 Bubbling 유동층 이라고 한다.

C-D구간은 Bubbling 유동층 연소시 입자층의 상한선이 나타나며 고체입자의 높이가 증가함에 따라 연소효율은 증가하나 어느 한계점 이상에서는 미연소 입자의 Over Flow가 발생되어 이 입자를 재순환시켜야만 계속적으로 유동층을 유지할 수 있게 된다. 이러한 구간에서의 유동층 연소를 이용한 방식을 순환식 유동층이라고 한다.

### 2) 유동층 소각의 특성

유동층의 열용량인  $1.42 \times 10^5 \text{ Kcal} / \text{m}^3$  정도로 보유열량이 높아 폐기물 연소에 있어 최적 연소조건을 형성한다. 유동층내의 Bed는 항상 700-800°C에 해당하는 열을 보유하고 있으므로 Bed

물질은 다음과 같은 특성을 갖는 것이 좋다.

- 불활성 일것
- 열충격이 강하고 용점이 높을 것.
- 내마모성이 있을 것.
- 비중이 작을 것
- 공급이 안정할 것
- 쉽게 구입할 수 있고 가격이 저렴할 것.
- 입도 분포가 균일 할 것.

유동층의 소각공정은 대상폐기물 및 폐열 회수 측면에서 구성이 상이하나 그림 3-2에 나타난 계통과 같다.

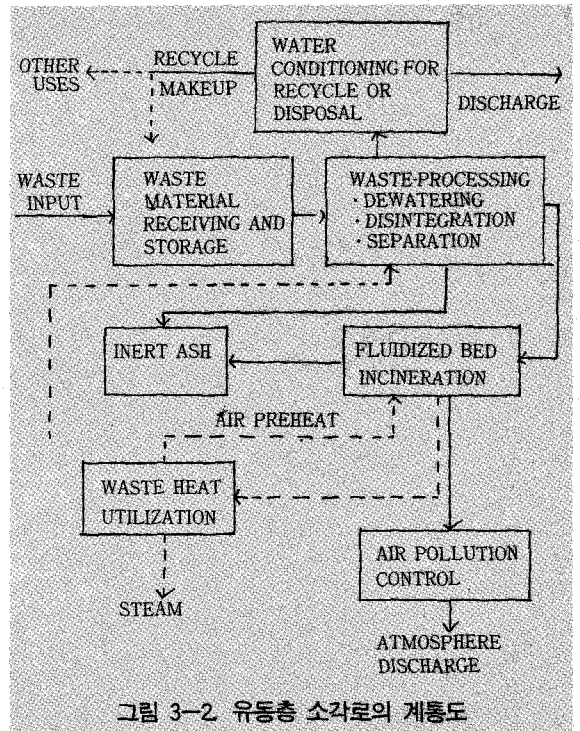


그림 3-2 유동층 소각로의 계통도

이러한 유동층 소각로는 일반적인 소각로로 소각이 어려운 난연성 폐기물 소각에 적합한 것으로서 특히 슬러지류 및 폐유, 폐윤활유계통소각에 탁월한 성능을 가진다. 폐기물 소각에 있어 대상폐기물을 살펴보면

- PLASTICS MANUFACTURING
- CHEMICAL PROCESSING
- OIL REFINERY PROCESS

- PHARMACEUTICAL PROCESS
- NYLON MANUFACTURING
- TANNERY PROCESSES
- BREWERY PROCESSES
- AUTOMOBILE MANUFACTURING
- PULP AND PAPER MILL LIQUOR
- WOOL WASHING PROCESS

와 같이 광범위하게 적용할 수 있으며 특히, 유동층소각로는 혼소가 가능하다는 장점이 있다. 유동층 소각로의 장단점은 표 6과 같다.

표 6. 유동층 소각로의 장·단점 비교

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유동매체의 열용량이 커 액상물, 다습물 및 고형물의 건조 및 혼소가 가능하다.</li> <li>· 반응시간이 짧다 소각시간이 짧다. (로부하율이 높다)</li> <li>· 연소효율이 높아 미연소분 배출이 적고 2차연소실이 불필요하다.</li> <li>· 과잉 공기가 적어 결국 다른 형태의 소각로에서 보다 보조연료 사용량이 적고 가스량도 적다.</li> <li>· 기계적 구동부분이 적어 고장율이 낮다.</li> <li>· 로내온도의 자동제어로 열회수가 용이하다.</li> <li>· 유동매체에 일부 석회 및 기타 반응물질을 혼입하여 로내에서 산성가스 제거가 가능하다. 실제로 로내온도가 800°C인 유동층 소각로에서 탈황율=97% 탈염소율=92% 정도이나 로내온도가 상승함에 따라 효율은 저하된다.</li> <li>· 유동매체의 축열량이 높은 관계로 단기간 정지 후 가동시에 보조연료 사용없이 정상 가동이 가능하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유동화의 특성상 분진발생율이 다른 형태의 소각로 보다 높다.</li> <li>· 조대 고형물인 경우 투입을 위한 파쇄가 필요하다.</li> <li>· 유동매체의 손실로 인한 보충이 필요하다.</li> </ul>

## 2. 유동층소각로 및 Stoker식 소각의 비교

### (1) 소각로

비교사항	유동층식 소각	Stoker식 소각
1) 노본체 구조 및 소각 방식	<p>형상은 간단한 입형원형 또는 각형으로 되어 있다. 하부의 유동층과 상부 FREE BOARD로 (자유공간) 구성된다.</p> <p>투입된 쓰레기는 유동층에 고온의 열과 공기를 공급받아 순식간에 건조소각된다. 일부미연 GAS로 된 것은 FREE BOARD에서 완전 소각된다.</p> <p>연소속도가 빠르므로 로는 Compact하다 기계적 가동부분이 없으므로 문제가 일어나지 않는다. 보수가 쉽다.</p>	<p>형상은 커다란 BOX형으로 쓰레기를 보내면서 교반하여 건조, 연소, 후연소 공정을 행하는 스토카와 연소실로 구성되었다.</p> <p>건조공정에는 충분한 건조, 연소공정에는 건조한 쓰레기의 고온연소 후연소 공정을 통과하여 소각되므로 소각시간이 1-2시간이 걸린다.</p> <p>각 공정을 천천히 진행하기 때문에 로본체는 대형으로 된다.</p> <p>또한 스토카를 고온중에서 기계적으로 구동하기 때문에 금속부의 마모손실의 문제가 있다.</p>
2) 배 GAS량	<p>공기와 쓰레기의 접촉비율이 높으므로 연소공기는 적어도 된다. 이 경우의 공기비는 통상 1.2-1.8로 운전이 된다. 배가스량도 적다</p>	<p>교반력이 약하여 공기와 접촉효율이 나쁘고, 통상 공기비는 1.5-2.5로 운전되고 있다. 따라서 유동상조에 비하여 배가스량이 많다.</p>
3) 플라 스틱 등의 고발 열량 쓰레기의 소각	<p>고발열량의 것이 투입되면 유동상에 의한 심한 혼합과 반작용에 의하여 균일화 되기 때문에 국부적인 가열은 전혀 없고 유동상에서 분해된 가열가스는 Free board에서 완전히 소각된다.</p> <p>폭연의 발생이 전혀없다</p>	<p>발열량이 높은 것이 투입되면 교반력이 약하고 보내는 속도가 빠르기 때문에 국부적인 온도가 상승하여 국부 과열이 발생한다. 또한플라 스틱류는 스토카 밑에 용융적하에 의한 이상연소도 발생한다. 그러므로 로나 스토카의 손상이 빨라진다. 따라서 스토카의 재질도 고급으로 선정할 필요가 있어 보수비가 많이 든다.</p>
4) 쓰레기의 질 변화에 대한 적응	<p>유동상부의 온도를 컨트롤 하는데 따라서 수분이 많은 저발열량 쓰레기에서 플라스틱 등의 고발열량의 쓰레기까지 광범위한 발열량의 쓰레기에 대하여 안정된 연소소각을 할 수 있다.</p>	<p>수분이 많은 쓰레기에 대해서는 건조효율을 올리는 방법이 필요하고 또한 고발열량의 쓰레기에 대해서는 국부 가열을 방지하기 위하여 냉각공기의 도입 등 운전이 복잡하게 된다.</p>
5) 노의 연소재	<p>연소속도가 빠르므로 운전조건 변화에 대한 응답이 빨라 연소재어가 가능하다.</p>	<p>완만한 연소를 하므로 운전은 안정되어 있으나 쓰레기질의 급격한 변화 등과 국부연소에 대하여는 제어가 복잡하다.</p>

비교사항	유동층식 소각	Stoker 식 소각
6) 연소율	노상연소율은 450-700kg / m <sup>2</sup> Hr이므로 로의 점유면적이 적어도 된다.	화격자 연소율은 연속식으로 200-750kg / m <sup>2</sup> Hr 정도로서 노의 점유면적이 크게 된다.
7) 노의 기동 정지	로에 투입된 쓰레기는 단시간에 소각되기 때문에 완전히 정지하는 시간은 15분 정도이다. 유동상의 축열량이 크기 때문에 온도 강하는 적고 승온에 요하는 시간은 준연속 운전인 경우 15분 정도가 된다. 또한 토요일 정지에 따른 월요일의 승온에는 30분 정도 요한다.	쓰레기의 로내 체류시간은 길기 때문에 로내의 쓰레기가 완전히 타기 위해서는 조작이 필요하고 완전 정지에는 긴시간이 요한다. 정지후의 온도 강하가 크므로 소정 온도로 승온시키기 까지 2-3시간이 필요하다.
8) 오니와의 혼소	기계적으로는 오니 등 고탍수물의 유동성 폐기물과 마음대로 섞어서 혼소가 가능하다. 배수처리오니 쓰레기 Pit침출수의 동시 소각도 통상하고 있다.	미연분이 다량으로 발생하게 되어 오니단독 연소나 혼소가 거의 불가능하다.
9) 전처리	연소속도가 빠르기 때문에 쓰레기의 정량공급이 필요하다. 파쇄가 필요하다. 이에 따라 연소 효율에 올라가고 잔사의 방출이 용이하다.	전처리를 필요로 하지 않아 그대로 로에 투입된다. 따라서 연소효율이 나쁘며 미연물이 남고 잔사의 용량이 많아진다.

## (2) 소각회

비교사항	유동층상 로	Stoker 식 소각
1) 감용율	완전소각을 하기 위하여 투입된 쓰레기는 4-6%의 용량으로 된다. 따라서 감용율이 약 95%가 되어 매립지의 수명은 기계에 비해 대폭 연장된다.	투입된 쓰레기에 대한 회용량은 8-15%로 크므로 회수 손비가 더 들며 매립지의 충분한 확보가 필요하다.
2) 소각잔사에 의한 미연열 손실	고온의 유동상이 심하게 교환혼합을 하기 때문에 투입된 쓰레기는 완전 소각된다. 소각잔사로서는 철분, 불연물이 배출되고 그의 미연손실은 0에 가깝다.	구조적으로 쓰레기의 교환은 불안정하며 완전한 소각은 어렵다. 소각잔사의 미연손실은 5-15%로 큰 값을 나타낸다. 그러므로 매립지에 있어서 파리, 쥐의 발생, 약취 등의 2차 공해가 문제로 되는 경우가 많다.
3) 배가스 미연에 의한 열손실	유동상에서 발생한 미연 gas는 Free board부에서 완전히 소각되기 때문에 미연 가스에 의한 열손실은 약 1%에 불과하다	배기가스 미연손실이 대단히 커서 대기오염유발과 더불어 열손실을 초래한다. 이를 피하기 위하여 반드시 2차 버너를 설치, 재연소를 시켜야

비교사항	유동상 로	Stoker 식 소각
		한다.
4) 소각잔사의 처리	(1) 소각잔사는 철분, 쇠붙이, 돌 등의 불연물로서 건조상태로 배출되며 수송 등에 취급이 용이하다. (2) 또한, 자석장치를 설치하여 잔사로부터 보다 순도 높은 철분의 회수가 가능하다.	(1) 소각잔사는 철분, 쇠붙이, 돌 등의 불연물에 다른 회도 포함된다. 일단 냉각수로 냉각시키고 Pit에 떨어뜨리고 젖은 상태로 배출되며 수송 등의 취급이 어렵다. (2) 젖은 상태이고, 불연물도 파쇄되어 있으므로 철분 회수가 어렵다.

## (3) 공해대책

비교사항	유동층상 로	Stoker 식 소각
1) NO <sub>x</sub> 대책	유동층식 소각로 특징으로 과잉공기가 적은 저공기比 연소를 행하고 또는 낮은 온도에서 운전하기 때문에 NO <sub>x</sub> 의 발생량은 적어서 특별한 배 gas 처리대책은 필요하지 않다. 유동층로에서의 2차공기 도입방법에 의한 NO <sub>x</sub> 저감운전법(2단 연소)의 적용도 가능하다.	연소방법에 의한 NO <sub>x</sub> 대책이 곤란하다.
2) HCl 대책	폐기물의 원소성분중 Cl가 많이 함유하고 있는 것은 연소시 염화수소가 발생하게 된다. 고 염소분의 폐기물을 유동층 연소로 소각할 경우 유동층로내에 석회석분말을 직접 불어 넣어 염화수소를 CaCl <sub>2</sub> 의 형태로 흡수하게 된다.	좌기와 같은 건식 탈염법을 행할 경우 교환효과가 나쁘므로 염소분 제거율이 아주 낮다. 따라서 HCl제거를 위한 후처리 설비를 반드시 갖추어야 하므로 비경제적이다.
3) SO <sub>x</sub> 대책	유황분이 함유하고 있는 폐기물은 배기가스중에 아황산가스가 배출하게 되는데 이에 대한 탈황법으로 황분흡수제인 석회석 및 백운석을 유동층 로내에 주입하면 연소와 동시에 SO <sub>x</sub> 을 90% 이상 제거할 수 있어서 별도의 탈황설비가 필요 없다.	유황흡수제와 폐기물과의 교환효과가 나쁘므로 탈황효율이 아주 낮다. 고가의 배연 탈황설비가 반드시 필요하다.
4) 배수 처리	유동층로에서는 Fly ash, bottom ash 및 소각잔사는 완전 건식으로 배출되기 때문에 탄pit 배수는 없다. 또한, 연소 gas 냉각공정에	회분과 소각잔사는 습식으로 pit에 모이게 되며 증기속을 함유한 배수가 나온다. 또한, 냉각, 재연 등의 공정에서도 똑같은 배수가 나온다.

비교사항	유동상로	Stoker식 소각
	서 완전 증발형 냉각탑을 채용하므로 냉각 재연 배수도 없어진다.	이런 것들을 정화하기 위해서 고도의 중금속 제거장치를 포함한 배수처리 설비를 필요로 한다. 보수관리에 사람의 손이 든다. pit배수는 금속 부식성이 있어 Convyer 등에 Trouble을 발생시키는 경우가 있다.

### 3. 유동층 소각기술의 활용 실례

#### 1) 국내

가. 성남 도시 쓰레기 소각시설(전설중, 93년 완공예정)

- 시설규모 : 100T / D(50T / D×2기)
- 운전시간/연간가동일수 : 1일 24시간/연간 350일 가동
- 소각조건 : 750-950°C(연소실 출구온도)
- 건물크기 : 건면적 1,355M<sup>2</sup>, 지상 4층높이, 연면적 2,913M<sup>2</sup>

구분	시설	형식	규격	댓수
반입 및 공급설비	크레인	천정 주행형	바켓용량 : 2M <sup>3</sup>	1
	파쇄기	유압식	2.5T / H	2
	대형쓰레기 절단기	전단형	1T / H	1
소각설비	소각로	유동층	2.1T / H	2
가스냉각설비	가스냉각기	수분사식	11,000NM <sup>3</sup> / H	2
공해방지 시설	E.P	건식	15,000NM <sup>3</sup> / H	2
	소석회정량공급기	-	30kg / H	1
여열이용설비	공기 가열기	Plate type	20,000kcal / H	1
	온수 발생기	Fin tube type	380,000kcal / H	1
통풍설비	1차압입송풍기	Turbo	1000M <sup>3</sup> / H, 2200MMAQ	2
	2차압입송풍기	"	86M <sup>3</sup> / H, 500MMAQ	2
	유인송풍기	"	720M <sup>3</sup> / H, 300MMAQ	2
	공기에열기	Bare tube type	4030NM <sup>3</sup> / H	2
소각재처리	소각재가습기	Two Axes screw	1.5T / H	1
폐수처리			20T / D	1

• 건설공사 : 쌍용건설 / 미쓰이

• 설계감리 : 대림엔지니어링

• 주요설비

#### 2) 포항제철 일반쓰레기 소각시설

• 시설규모

주택단지 및 사무실 쓰레기 : 40T / D

폐유 10T / D

• 운전개시 : 1988. 8

• 소각온도

로내온도 : 650°C

로출구온도 : 850°C

• 시공회사 : 롯데기공 / Nippon Zeon

#### 3) 전주제지 Sludge 소각로

• 시설규모 : 100T / D(50T / D×2기)

Paper Sludge(70%H<sub>2</sub>O, 3500Kcal / kg) : 60T / D, Bark (4500Kcal / kg)

• 운전시간/연간가동일수 : 24H / D, 330D / Y<sub>r</sub>

• 로내온도 : 700-900°C

• 시공사 : 삼성 엔지니어링

#### 4) 진도 엔지니어링

• 시설규모

• 폐유, 슬러지, 고형물 : 150kg / H(Pilot Plant)

• 운전개시 : 1991. 9. 1

• 로내온도 : 850°C

• 시공회사 : 진도엔지니어링

• 설계회사 : 진도엔지니어링

—국책과제의 일환으로 동력자원부 주관인 대체에너지 기술개발 사업에 선정, '90. 8. 15일에 시작하여 현재 시운전 중이며 최초로 설계. 시공의 국내 자립도 이룩

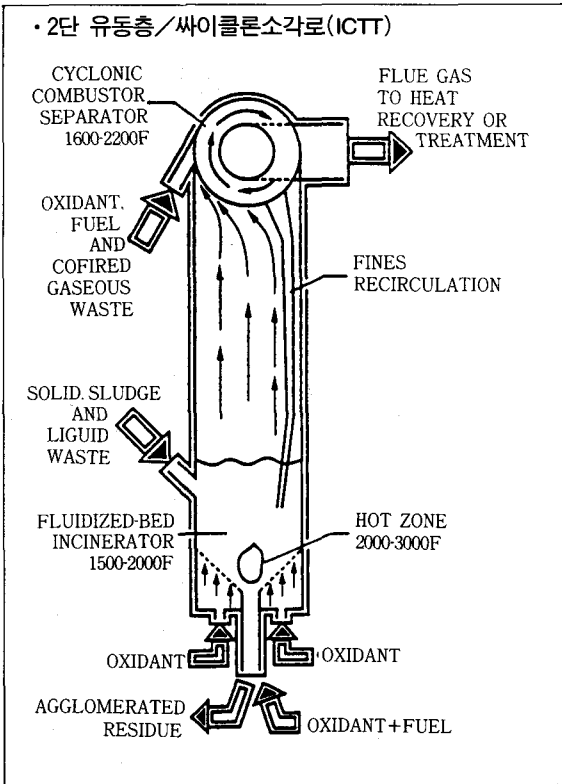
#### 2) 국외

외국에서는 유동층 소각도가 1970년대 부터 서서히 증가하여 특히 일본에서도 근래에 들어 도시쓰레기 소각에 상당히 많은 활용을 보이고 있다. 다음 Fig들은 미국의 경우 특허상에 등록되어 있는 몇가지 유동층 소각로를 나열해 보았다.

상담 및 문의전화 711-4040



• 2단 유동층/싸이클론소각로(ICTT)



반응기내의 압력강하와 층 면적당 고체의 무게가 같아지면 이때 고체들이 상호움직임을 갖기 시작한다.

이 상태를 최소 유동화 상태라고 하며 이때의 기체속도를 최소 유동화 상태라고 한다. 이후 계속적으로 유속을 증가시키면 압력강하는 거의 일정하게 유지되지만 고체층이 팽창하면 고체들의 거동은 전적으로 액체와 같은 특성을 보이기 시작한다. 아울러 층은 큰 공극의 형태로 통과하는 기체들이 출현하여 이를 기-액계에서와 유사하게 기포라고 부른다.

