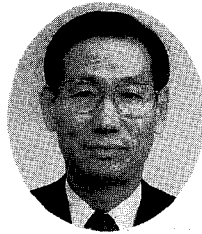


# 소각로 기본설계 및 선정방법

〈2〉



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. 건류식 소각로
- VI. 방지시설
  - 1. Ventury Scrubber
  - 2. Packed Tower
  - 3. Bag Filter
- VII. 결 론

## III. 연소이론

### 1. 소각이론

폐기물의 소각은 가연성 폐기물을 공기중의 산소와 반응시켜 고온의 가스와 감량화된 고형분으로 전환시키는 것이며 그에 따른 연소메카니즘은 다음과 같다.

#### 1) 증발연소

고형폐기물을 가열하면 용해되어 액상으로 변한다. 계속 가열하면 증발하며 이때 발생하는 가연성 가스가 공기와 혼합하여 확산연소하는 현상인데 증발을 위한 열원이 필요하다. 연소속도는 가연성 가스의 증발속도 또는 산소와 가연성 가스의 확산속도에 의해 지배된다.

#### 2) 분해연소

고형폐기물이 가열되면 증발하기 전에 휘발분과 고형탄소분으로 분해된다. 휘발분 중의 가연성 가스는 확산연소되고 고형탄소분은 표면 연소하는 현상이며 분해를 위한 열원을 필요로 한다. 연소 속도는 연료 내부로의 전열속도에 의한 영향을 받는다.

#### 3) 표면연소

고형폐기물이 가열되어도 증발 또는 분해되지

않고 고체상태에서 연소되는 현상으로 연소속도는 연료 표면에서의 확산속도 또는 표면에서의 화학반응속도에 의해 지배를 받으며 불균일 연소라고도 한다.

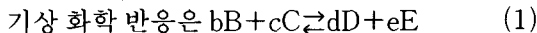
이상의 연소에서 탄화수소계 폐기물 중에서 C/H ratio가 큰 폐기물일수록 연소시 탄소를 쉽게 유리시키기 때문에 매연 발생가능성이 높아진다.

이러한 가연성폐기물의 소각시에는 경제성 및 안정성을 위하여 가능한 한 완전연소시켜야 하며 그 연소상태는 폐기물과 공기가 적절한 비율로 유입되면서 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다.

- (1) 공기와 피연소물과의 혼합상태, 즉 피연소물의 표면적 증대와 그의 난류상태(Turbulence)
- (2) 연소시간, 즉 피연소물질의 체류시간
- (3) 연소온도

## 2. 연소 KINETICS

각각 다른 화학반응에 대한 연소과정은 반응 종류의 농도 및 온도와 일부 정압에 의존한다. 반응속도와 연소계에 대한 변수와의 상관관계는 연소 KINETIC을 좌우한다.



정방향의 반응속도는 다음식에 의해 정의된다.  $r = K[B]^b[C]^c$

또한 역방향에 대한 반응속도는

$$r' = k'[D]^d[E]^e$$

평형상태에서 두방향의 반응은 평형을 이루므로  $r = r'$

$$K[B]^b[C]^c = K'[D]^d[E]^e$$

$$\frac{K}{K'} = \left( \frac{[D]^d[E]^e}{[B]^b[C]^c} \right)_{\text{equil.}} \quad (2)$$

$= K_p$  (평형상수)

온도 T에서  $K_p$ 의 변화는 Van't Hoff식에 의해

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (3)$$

(2)와 (3)식을 합하면

$$\frac{d \ln k}{dT} - \frac{d \ln k'}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2} \quad (4)$$

여기서  $\Delta H = E - E'$ 로 표현되며, 따라서

$$\frac{d \ln k}{dT} - \frac{d \ln k'}{dT} = \frac{E}{RT^2} - \frac{E'}{RT^2} \quad (5)$$

(5)식은 아래와 같이 분리할 수 있으므로

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E}{RT^2} \quad (6)$$

$$\frac{d \ln k'}{dT} = \frac{E'}{RT^2} \quad (7)$$

상기식을 적분하여 Arrhenius 식으로 표현하면  $R = Ae^{(-E/RT)}$  (8)

A : 빈도계수

E : 활성화 에너지

R : 기체상수

T : 온도

## 3. 화상 부하율

고체의 피소각물이 연소를 연속적으로 하여 화층을 형성하는 영역을 화상이라고 하며 소각로의 구조, 화상의 종류, 피소각물의 성상 및 특성 등

표3. 화상부하율(kg / M<sup>2</sup>.H)

형식	화격 자연소			상 연소 방식			FBC		
	고정화격자	가동화격자	가동화격자	고정상	회전로	다단로		킬론	
통풍	자연	강제	강제						
연소	일반진기	100-150	150-250	200-300					
	도시폐기물	80-100	120-150	150-200					
	슬러지				20-25	35-40	35-40	30-38	350-450
	식물성	20-30	30-50	40-60	20-25	35-40	35-40		
종류	동물성	40-60			25-35	45-55	45-55		
	동물사체								350-450
폐타이어	페목				100-200				
	페프라				50-150	60-200			
	스티크								
페타이어									

풍방법 등에 따라 단위시간, 단위면적당 연소량 즉 부하율의 차이가 있다.

$$\text{화상부하율(kg / M}^2\text{.H)} = \frac{\text{연소량(kg / H)}}{\text{화상면적(M}^2\text{)}}$$

따라서 화상부하율을 크게 하기 위해서는 연소량을 늘리거나 화상면적을 줄일 수 있으나 화상부하율이 너무 크면 로내온도 저하로 불완전 연소를 초래, 적당한 연소분위기를 잃게 된다. 또한 화상부하율을 약간 적게 하는 것이 연소효율에 대해서는 안정성이 있다고 할 수 있다. 그러나 똑같은 소각대상물에 대해 실제로 화상 부하율을 더 크게 갖는 소각로는 콤팩트하여 경제적으로도 우수하다고 할 수 있다.

대표적인 고품 폐기물에 대한 화상부하율은 표 3과 같다.

#### 4. 로 열부하율

소각로내에서 가연물이 연소하여 열이 발생할 경우 연소실 용적 1M<sup>3</sup>당 1시간에 발생하는 평균 열량을 열부하율이라한다. 즉 용적이 V(M<sup>3</sup>)인 연소실(공간)에서 1시간  $\theta$  (kcal)의 열이 발생할 경우 열 부하율(k)는

$$K = \frac{Q}{V} \text{ (kcal / M}^3\text{.H)}$$

$$= \frac{G(Hl_1 + ACa(ta - to)) + FHl_2}{V}$$

여기서 G : 소각량(Kg / H)

Hl<sub>1</sub> : 소각물의 저 발열량(kcal / kg)

A : 소각물(Kg, M<sup>3</sup>)당 공기량(Kg / Kg, Sm<sup>3</sup> / kg)

Ca : 공기의 정압비열(kcal / kg°C, 또는 Kcal / sm<sup>3</sup> °C)

ta : 공급 공기의 온도(°C)

to : 외기온도(°C)

F : 조연량(Sm<sup>3</sup>/H 또는 Kg / H)

Hl<sub>2</sub> : 보조연료의 저발열량(Kcal Sm<sup>3</sup> 또는 Kcal / kg)

가연물에 대해서 열부하가 과다하면 불완전 연소를 야기시킨다.

보조연료는 발열량이 낮은 경우 사용되며 특히 가연성 휘발분이 적고, 착화상이 불량하거나 난연성들에 대해서는 많이 소요된다. 또한 열부하가 적은 경우 적정온도유지가 곤란해 보조열량을 많이 필요로 한다. 한편 열부하율은 가능한 범위에서 크게 갖는 것이 연소실 용적을 작게 할수 있어 경제적이며 보조연료를 필요로 하는 발열량이 낮은 폐기물 연소시 연소실은 가능한 한 열손실을 막아야 한다. 열부하율은 화상 부하율과 마찬가지로 소각로 구조, 형식, 피소각물의 성상 및 특성 등에 따라 다르며 각폐기물에 대한 적정 열부하율은 표 4와 같다.

표4. 연소실 열부하율 개략치(kcal / m<sup>3</sup>.hr)

소각로 폐기물	화격자 연 소	상 연 소			유동층
		고정상	다단로	킬 른	
도시쓰레기	8-20×10 <sup>4</sup>				
탈수오니		15-45×10 <sup>4</sup>	7-15×10 <sup>4</sup>	7-10×10 <sup>4</sup>	15-45×10 <sup>4</sup>
주방쓰레기 (동물성)	15-25×10 <sup>4</sup>				
주방쓰레기 (식물성)	15-40×10 <sup>4</sup>				
가축분뇨					15-35×10 <sup>4</sup>
폐목재	10-20×10 <sup>4</sup>				
페프라스틱		60-70×10 <sup>4</sup>			
폐고무, 타 이어		10-20×10 <sup>4</sup>			

#### IV. 소각로 선정 요령

산업의 발달로 그에 따른 폐기물의 종류 및 양상도 더욱 다양해져 발생 폐기물의 소각 또한 대단히 복잡해지고 있다. 따라서 폐기물 처리목적으로 많은 투자를 하여도 폐기물의 특성에 따른 적정 처리시설 선정이 안될 경우 소각로 가동을 시운전단계에서 중지하는 경우가 빈번하게 발생되고 있다. 반면 적은 투자로도 만족할만한 처리효과를 내며 가동하는 경우가 있어 당초 계획단계에서 부터 신중을 기해야 할 것이다.

소각로는 외부에서 보기에는 거의 비슷하나 상세히 검토하면 소각로에 대한 선택적 기술이 필요하며 특히 소각로 가동에 대한 영향을 신중히 고려해야 한다. 따라서 소각로 계획시

○ 폐기물의 특성

- 폐기물 발생량
- 소각로 내구년수
- 가동인원
- 보수기간
- 환경기준

등을 고려하여야 할 것이다. 여기서 폐기물의 특성조사는 이것이 얼마나 완벽하게 조사되었느냐에 따라 소각로 성능을 좌우한다고 해도 과언이 아닌 만큼 소각로 계획시 가장 중요한 관건이며 폐기물 발생량은 향후 증가할 발생량의 예측 및 소각로 보수기간을 고려하여 여유있게 산정하는 것이 더 경제적이다 하겠다.

표 5는 각종 소각방법에 대한 비교이다.

표 5. 각종 소각 방법의 비교

소각방식	소각시설의 원리 및 구조	소각방법의 특징		대상폐기물
		장점	단점	
Grate 방식	소각로의 하부에 Grate가 있어서 연소용 공기를 Grate 하부로 부터 흡인하여 폐기물을 소각한다. Grate의 구조, 폐기물의 공급방법에 따라 수평화상식, 고정 Stoker 방식, 가동 상 Stoker 방식, 경사 Stoker 방식 등이 있다.	· 연속적인 소각회 배출이 가능 · 경사 Stoker 방식의 경우 수분이 많은 것이나 발열량이 낮은 정도 소각이 가능	· 수분이 많은 것이나 프라스틱과 같이 열에 연화, 용해되는 것을 잘 소각시킬 수 없다. (Grate가 막힐 염려가 있음)	· 종이류, 목재류 등
고정상 방식	· Grate형의 화상이 아니고 내화재로 된 화상을 갖는 소각로에서 연소용 공기의 주위로 부터 화상을 향하여 분사되면서 폐기물을 소각시키고 일종의 반사로와 같은 구조를 갖고 있다. 일반적으로 발열량(4,000kcal/kg 이상)이 많은 것의 소각에 적합	· 프라스틱과 같이 열에 연화, 용해되는 것을 잘 소각시킬 수 있다.		· 가연성 고형물전소, 특히 프라스틱의 처리에 유리하다.
Rotary kiln 방식	· 소각로의 회전에 의하여 소각물을 교	· 수분이 많은 오니	· 설비를 위해 비교	· 오니, 고무점성 폐

소각방식	소각시설의 원리 및 구조	소각방법의 특징		대상폐기물
		장점	단점	
	반하면서 연속적으로 소각시킨다.	나 점성이 있는 슬러지의 소각에 유효(광범위하게 활용 유효) · 구조가 간단하고 취급하기가 용이 · 동력비, 운전비가 적게 소요 · 소각회를 소결시킬 수 있다.	적 넓은 부지가 필요. · 탈수도가 나쁘면 조립작용으로 입도가 큰 것이 생기며 건조가 불충분하여 지기 쉽다. · 2차 연소실을 필요로 한다. · 투자비에 비해 소각능력이 떨어진다.	가물에 유효 · 가연성 폐기물전소
다단로 방식	· 6-8단으로 되어 있는 원통관로 중에 회전축이 있고 회전축에 연결된 Arm(2-4개의 날개로 됨)이 각단에서 회전하면서 오니를 굵어 상단으로부터 하단의 2개 단은 건조, 3내지 4 단에서는 소각, 5내지 6단은 냉각시키는 역할을 한다.	· 연소가 완전하고 취급하기가 용이 · 동력비 적게 들고 운전비가 저렴 · 온도 제어 용이하고 조작이 쉽다. · 분진 발생이 적다.	· 로 내가 회전구로 되어 있기 때문에 열량이 많은 오니의 소각처리에는 부적당하다. · 24시간 연속 운전을 필요로 함 · 가동부분이 많고 장율이 높다. · 산성가스가 발생하는 폐기물에는 부적당 · 혼소에는 부적당하다	· 수분 함량이 높고 있는 슬러지에 유효
유동층 연소 방식	여러개의 공기분사 노즐이 있는 화상위에 모래를 넣고 노즐로부터 공기를 압송	· 적은 Space로서 많은 용량의 폐기물	· 마모에 강한 재질을 사용해야 한다.	· 오니류, 폐유

소각방식	소각시설의 원리 및 구조	소각방법의 특징		대상폐기물
		장점	단점	
	<p>하여 모래를 유동시켜 유동층을 형성한다. 이 유동층에 폐기물을 공급 순간적으로 건조·소각시킨다.</p>	<p>을 처리할 수 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 기계적인 고장이 적다.</li> <li>· 열량이 적고 난연성인 액상오니도 소각이 용이하다.</li> <li>· 로내 온도 분포가 일정하다.</li> <li>· 로내에서 산성 가스 제거가 가능</li> <li>· 폐기물의 연소에 필요한 최대한의 표면적 제공</li> <li>· 2차연소실이 불필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고품폐기물의 경우 분쇄가 필요하다.</li> <li>· 유동매체의 보충이 필요한 경우가 있다.</li> </ul>	

소각방식	소각시설의 원리 및 구조	소각방법의 특징		대상폐기물
		장점	단점	
분무소각 방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 액상 폐기물을 고온의 로내로 분사시켜 자연그대로 또는 조연물을 사용하여 소각시킨다. 분무식으로서 소각물의 물성에 따라 고압분무방식, Rotary 분무방식, 공기분무방식, 증기분무방식 등을 채택할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수분 99%의 유기폐액도 소각이 가능하다.</li> <li>· 운송은 전부 펌프나 배관으로 이루어지게 되므로 밀폐구조가 가능하여 냄새나 휘발성 폐기물의 처리에 적합하다.</li> <li>· 가동 이외의 경우 무인운전이 가능하다.</li> </ul>		<p>유기성 폐수, 일반폐유</p>

상담 및 문의 전화 711-4040

## 애독자 여러분의 참여를 기다립니다 !

연합회보의 문은 늘 열려있습니다.

애독자 여러분의 정성과 숨씨가 담긴 진솔한 글이라면, 현장에서 체득한 개선사례나 가까운 벗 혹은 그리운이에게 띄우는 편지, 자신에게 하고픈 얘기 그리고 소설, 시, ... 등등 어떤 장르의 원고라도 환영합니다.

채택된 분께는 저희가 마련한 기념품을 드립니다.

보내실곳 : 서울시 구로구 구로5동 41-15 환경빌딩 2층

전국환경관리인연합회 회보담당자 앞