

소각로 설계기술

1. 폐기물 특성 및 기본설계

가. 성분분석

- 공업분석 : 수분, 휘발분, 회분
- 원소분석 : C, H, O, N, S

쓰레기는 일반적으로 질적 특성이나 크기나 매우 다양한데, 특히 우리나라 쓰레기와 같이 수분 함량이 약 65%로 높고 계절적 특성변화가 심한 경우에는 쓰레기를 소각로에 투입하기 전에 균질화 및 균일화하지 않으면 쓰레기의 연속속도 및 발열량 등이 매우 불규칙하여 노내압력 및 온도를 일정하게 유지하기가 매우 어려워진다.

국립환경연구원의 조사결과를 토대로 우리나라 도시폐기물의 조성식을 나타내면 다음과 같다.

■ 건량기준 : $C_{46.01}H_{6.75}O_{35.35}N_{1.85}S_{0.26}Cl_{1.97}A_{7.84}$

■ 습량기준 : $C_{20.18}H_{2.96}O_{15.50}N_{0.81}S_{0.11}Cl_{0.87}A_{56.14}W_{56.14}$

우리나라 생활쓰레기의 성상

3 성 분	수분	%	56.14	원 소 분 석	C	%	46.009
	가연분	%	36.05		H	%	6.751
	회분	%	7.81		O	%	35.352
물 리 적 조 성	비닐, 플라스틱	%	15.32		N	%	1.846
	종이류	%	20.18		S	%	0.256
	음식물류	%	49.87		Cl	%	1.974
	나무, 짚류	%	3.97		Ash	%	7.839
	섬유류	%	4.63		겉보기밀도	T/m ³	0.37
	금속류	%	2.42		저위발열량	kcal/kg	1,661
	비금속류	%	3.60				

비고 : 물리적 조성은 습량 기준, 원소분석은 건량 기준

나. 발열량 분석

1) 고위발열량과 저위 발열량의 관계

$$H_l = H_h - 6(9h + w)$$

여기서 H_l : 습량기준 저위 발열량

H_h : 습량기준 고위 발열량

h : 습량기준 수소분(%)

w : 습량기준 수분(%)

2) 삼성분치에 의한 발열량 추론

$$h_l : \alpha\beta - 6W$$

여기서 β : 쓰레기 중에 있는 가연분(%)

α : 가연분 중에 있는 평균저위발열량

3) 원소조성에 의한 발열량 산출

■ DULONG식

$$Hh=339.4C+1435.1(h-\frac{0}{8})+94.3s(kJ/kg)$$

■ STEUER식

$$Hh=339.4(C-3\times\frac{0}{8})+238.8\times3\times\frac{0}{8}+1445.6(h-\frac{0}{16})+104.8S(kJ/kg)$$

■ SCHEURER-KESTNER식

$$Hh=339.4(C-3\times\frac{0}{4})+1435.1h+94.3S+104.8\times3\times\frac{0}{4}$$

4)폐기물질 변화에 따른 설비 계획

구 분	소각로 설비	부대설비설비용량
고질 쓰레기	연소실 열 부하 연소실 용적 2차 연소실용적	통풍설비, 가스냉각설비 배기가스처리설비,수처리설비 수변전 설비, 터빈
기준(평균)쓰레기	기본 설계치	피트등
저질쓰레기	화격자연소율(스토카) 노상연소율(유동상) 화격자면적(스토카) 노상면적(유동상)	조연설비

다. 소각로 용량 산출방법

- 1) 연도별 발생량 변화(과거 5년 실적 및 미래 7년 예측), 소각로 수명(7~15년)고려, 근무체제, 보수시 대응방법 등 고려
- 2) 규모의 경제성, 광역화가능성, 유지관리비, 인건비 등 고려
- 3) 연간 실가동일

$$\begin{aligned}\text{시설규모} &= \text{계획년간 일평균 처리량} \div \text{실가동율} \div \text{조정 가동율} \\ &= 200T/24h \div (280/365) \div 96 = 272T/24h\end{aligned}$$

라. 열작감량(강열감량)

$$\alpha = \frac{B}{A+B} \times 100\%$$

여기서 A : 불연물+회분, B' : 가연분 중 미연분

마. 여열이용형태별 필요열량

설비명칭	설비개요	이용형태	필요열량 (MJ/h)	단위당열량
유인송풍기 터빈구동	터빈출력 500kw	증기터빈	33,000	66,000KJ/Kwh
발 전	정격발전능력 10,000kw(배압 터빈) 20,000kw(복수터빈)	증기터빈	35,000 40,000	35,000KJ/Kwh 20,000KJ/Kwh
급 탕	1일 8시간 급탕량 10㎥/8h	증기온수	290	230,000KJ/㎥ (5~60℃ 가온)
난 방	연면적 1,200㎥	증기온수	800	670KJ/㎥·h

바. 경제성분석

1) 변동비 산출

전력비, 상수도비, 연료비, 소모품비, 소각(바닥)재처리비 등

2) 고정비 산출

인건비, 은행이자, 감가상각비, 수선유지비, 분석비, 관리비, 보험료 등

3) 일반관리비 및 이윤산출

4) 지출의 합

$$= 1) + 2) + 3)$$

5) 수익산출

- 처리량 × 365일 × 가동일 × 처리단가가)
- 스팀 또는 전력 발생에 따른 판매비나)

6) 수익의 합

$$= 가) + 나)$$

7) 경제성 평가

사. 공정표 작성

1) 경기상황에 따른 고려

2) 투자자 입장에 따른 고려

3) 자금조달에 따른 고려

4) 환경 관련법 준수에 따른 고려

5) 기본 및 상세 설계일정에 따른 고려

6) 제작 일정에 따른 고려

7) 설치 일정에 따른 고려

8) 시운전 일정에 따른 고려

9) 고려

2. 소각로 설계 참고사항

가. 공정설계

1) 화격자 연소율(화상부하율)

$$G = \frac{W}{A}$$

여기서 G : 화격자 연소율 kg/m²h

W : 쓰레기 소각량 kg/h

A : 화격자 면적 m²

구분	화격자 연소율	비고
스토카	150이상	공기온도 200℃
유동층	400이상	상동
회전식	50정도	

2) 연소실 출구 온도, 체류시간, 강열감량

구 분	연소온도	체류시간	강열감량
스토카 유동층	850℃	2초	10→5%
고온소각	1100℃	2초	5%
고온열융용	1200℃	1초	1%

3) 연소실 열부하(노열 부하율)

$$K = \frac{Q}{V}$$

여기서 K : 연소실 열부하(kcal/m³h)

Q : 단위시간당 쓰레기 총 발열량

V : 연소실 체적

구분	열부하	비고
고정상(스토카)	15-45×10 ⁴	기준 : 15×10 ⁴
유동상	15-45×10 ⁴	
회전식	10-15×10 ⁴	
다단로	7-15×10 ⁴	

4)연소 공기량

$$L = \lambda \cdot Lo = \lambda [8.89c + 26.7(h - \frac{0}{8}) + 3.33s] m^3 N/kg$$

여기서 L : 연소공기량, λ : 공기비, Lo:이론공기량

구분	공기비
스토카	1.7
유동상	1.4~2
회전식	2이상

5) 연소가스량

$$V_W = (\lambda - 0.21)Lo + 1.867C + 11.2h + 0.7S + 0.8N + 1.244w (m^3 N/kg)$$

$$V_D = (\lambda - 0.21)Lo + 1.867c + 0.75S + 0.8N (m^3 N/kg)$$

여기서 V_W :습량 연소가스량, V_D :건량 연소가스량

W:폐기물 단위중량당 수분량

6) 열정산(Heat Balance)

입열 = 출열

$$Q1 + Q2 = Q3 + Q4 + Q5$$

Q1 : 쓰레기 발열량

Q2 : 연소용공기 함유 열량

Q3 : 소각재 배출시 함유 열량

Q4 : 배가스 열량

Q5 : 열교환기 회수 열량

3. 소각로 제작 및 설치기준 (구조중심)

가. 소각설비의 구성

소각설비는 저장, 공급설비, 소각설비, 연소가스 냉각설비, 배가스 처리설비, 여열이용 설비, 통풍설비, 연소 잔재, 반출설비, 급수설비, 배수처리설비, 전기 및 계장 등으로 구성되어 진다.

나. 저장설비

- 저장설비는 원칙적으로 1일 최대 처리계획량의 30일분 이상 저장 용량을 가져야 한다.
- 저장조는 지반침하 또는 수압작용을 견딜 수 있도록 압축강도가 충분하여야 하며 내화성 재료로 제작되어야 한다.
- 침출배수와 악취에 대한 대책이 강구되어야 한다.

다. 투입설비

- 투입호퍼는 투입장치에 의해 공급된 소각물을 원활하게 연속적으로 로내부로 공급할 수 있어야 하며, 로내로 외부공기의 유입이나 연소 가스의 누출을 방지할 수 있는 구조로

하여야한다.

- 투입호퍼 상부치수는 투입장치보다 최소폭 0.5m이상 여유를 두어 소각물이 호퍼 외부로 떨어지는 것을 방지 할 수 있어야 한다.

라. 소각로 본체

- 소각로 본체는 여러 가지 연소장치의 형식과 특성에 따른 용적과 구조를 가지고, 내부에 연소가스가 충분하게 혼합하여 계획된 소각물을 정해진 시간내에 처리할 수 있어야 한다.
- 소각로 본체의 내부는 내화재로, 외부는 단열을 하여야 하며, 외부공기의 유입이나 연소가스 누출을 방지하기 위하여 두께 3.2mm이상의 철판을 용접하여 피복하여야 한다.
- 소각로 본체에는 미연소가스와 부유분진의 완전연소를 위하여 필요할 경우 2차연소실을 두어야 하며, 내부 벽은 소각로 본체와 동일한 재료를 사용하여 축로하여야 한다.
- 2차 연소실은 미연소가스의 혼합과 체류시간을 고려한 형상과 크기로 제작되어야 하며, 필요할 경우 2차 연소공기를 공급하여야 한다.
- 소각로 본체 외부 표면온도는 섭씨 80도 이하를 유지하여야 함.
- 소각로 본체 내부벽은 SK 32또는 그 이상의 내화도를 가진 것으로 축로하여야 한다.

마. 조연장치

- 소각로에는 로의 가동시와 정지시 및 적절한 연소온도 유지를 위하여 충분한 용량을 가진 조연장치를 설치하여야 한다.
- 2차 연소실이 있는 경우 2차연소실에 조연장치가 설치되어야 함.
- 조연장치는 정상적인 연료를 사용하는 형식승인된 제품을 사용하여야 하며, 자동점화장치 및 연소량을 조절할 수 있어야 한다.

바. 연소가스 냉각설비

- 연소가스냉각설비는 배가스처리 설비와 부대 장치를 보호하기 위해 배가스처리 설비로 유입되는 연소가스를 일정한 온도 이하로 냉각할수 있어야 하며, 그 온도는 섭씨 200도에서 250도 정도가 적당하나 단, 가스의 노점온도 이하로 떨어져서는 안된다.
- 연소가스 냉각방식은
 - 보일러식
 - 공기혼합식
 - 수분사실
 - 공기열교환식(또는 간접공냉식)등이 있다.

사. 배가스 처리설비

- 배가스처리 설비는 배가스 중의 처리대상물질을 배출허용기준 이하로 처리할 수 있어야 하며 설비의 부식, 분진에 의한 폐쇄 등이 일어나지 않도록 재료의 선정과 설계에 유의하여야 한다.
- 제진장치는 배가스 중의 분진을 제거하기 위한 것으로 전기집진기, 기계식 집진기 등을 단독 또는 조합하여 사용하여야 한다.
- 유해가스제거장치는 배가스 중의 유해가스를 제거하기 위한 것으로 다음 방법을 단독

또는 조합하여 사용한다.

- 연소제어법 : 연소실에 공기, 배가스, 물 등을 공급하는 방법으로 연소를 제어함으로써 처리해야할 유해가스발생량을 억제하는 방법
- 건식처리법 : 화학약품을 주입하여 유해가스와 반응시켜 고체입자로 전환시킨 후 집진기 등에서 분진을 제거하는 방법 또는 화학약품을 주입하여 유해가스와 반응시켜 무해한 가스로 분해하는 방법
- 습식 세정법 : 알칼리성 용액 또는 알칼리 슬러리 등을 사용하여 배가스를 단열포화 온도 영역까지 냉각하고 유해가스를 제거하는 방법

자. 여열 이용설비

열 및 온수공급설비

- 열손실이 작고 기기의 부식등에 의한 손상이 낮은 재료와 구조로 하여야 한다.
- 열 및 온수공급설비의 능력은 여열이용에 필요한 수증기 및 온수량에 대응하는 것이어야 한다.
- 발전설비
 - 발전설비를 설치하는 경우에는 공급증기량의 변동을 작게하는 등 안전한 운전이 가능한 구조로 하여야 한다.
 - 발전설비의 용량은 증기, 발전 전력의 역송전 가부, 시설의 수요전력 등을 고려하여 적절하게 정하도록 한다.
 - 증기터빈은 증기조건을 적절하게 정하여 습한 영역에서의 손상과 부식대책을 강구하여야 한다.

아. 통풍설비

- 통풍설비로는 압입송풍기, 통풍덕터, 유인송풍기, 배기가스덕터 및 연도등으로 구성되며 통풍방식은 평형통풍방식을 채택하고 로내압력과 연소온도, 공기량 등을 제어할 수 있도록 댐퍼장치를 설치하여야 한다.
- 압입송풍기(Forced Draft Fan): 설계 계산에서 구해진 연소 공기량을 기준으로 15~30%, 최대풍압에 10~20%의 여유율을 가져야 한다.
- 통풍덕터: 용접구조로서 통과공기량에 적합한 현상과 크기를 가져야 하며 통과하는 공기온도를 배려하여 적절한 보온을 실시하고 공기가 외부로 누설되지 않도록 하여야 한다.
- 유인송풍기(Induced Draft Fan): 설계 계산에서 구해진 최대 연소가스량에 15~30%, 최대풍압에 10~20%의 여유율을 가진 것으로 한다.
- 배가스 덕터 및 연도: 배가스 덕터와 연도는 통과가스량에 적절한 형상과 크기를 가져야 하며 통과하는 공기온도를 배려하여 적절한 보온을 하여야 한다. 그리고 분진에 의한 폐쇄가 일어나지 않는 구조로서 점검과 보수가 쉬워야 한다.
- 연돌: 통풍력과 배가스의 대기확산 등을 고려한 높이와 구조를 가진 것으로 적절한 위치에 배가스 측정구 및 필요한 안전지지판을 설치하도록 한다.

자. 연소 잔재 제거설비

- 연소잔재 및 분진 호퍼: 연소잔재 등이 서로 덩어리지지 않고 원활하게 떨어질 수 있어야 하며 소각작업 중에도 연소재의 제거가 가능한 구조로 하여야 한다.
- 분진 반출장치: 외부에서 공기가 유입하지 않는 구조로 하고 원활하게 분진이 이송될 수 있어야 한다.
- 연소 잔재 냉각장치: 연소잔재의 소화와 냉각을 실시하면서 로내로 유입하는 공기를 차단하는 구조로써, 내부에 연소 잔재 반출장치가 설치 될 수 있는 용적을 가지고 연소잔재 등을 원활하게 이송할 수 있어야 한다.
- 연소 잔재 반출장치 : 연소 잔재를 원활하게 이송하기 위하여 필요한 용적을 가지고 연소 잔재 등이 비산 또는 낙하하지 않는 구조로서 소각작업 중에도 연속작업이 가능하여야 한다.

카. 전기 및 계장설비

- 시설의 적절한 관리를 위해 소용되는 충분한 능력을 가진 것으로 안정성과 신뢰성을 갖춘 설비이어야 한다.
- 조작 보수 및 관리의 편리성과 에너지절약 측면을 고려한 설비이어야 한다.
- 사고예방 및 사고의 파급방지를 고려한 설비여야 한다.
- 표준화된 기기와 장치 및 재료 등을 사용하여야 한다.

타. 부속장치

- 온도 측정 장치
 - 연소실 및 출구 그리고 각종 기기보호를 위하여 온도측정이 필요한 위치에 온도측정용 열전대를 부착하고 자동온도기록계를 설치하여 한다.
 - 온도측정용 열전대의 부착위치는 평균온도를 측정하게 할 수 있는 곳에 설치하여야 하며, 화염이 직접 닿지 않아야 한다.
- 2차 연소용 공기 공급장치: 연소실에서 배출되는 미연소가스 및 부유분진의 완전요소를 위하여 필요한 경우에는 2차 연소실에 조연장치와 2차연소용 공기공급장치가 설치되어 있어야 한다.
- 연소실 온도제어장치 : 연소실온도가 적절한 온도범위의 상한을 초과하는 것을 방지할 목적으로 연소용 공기공급량의 가감에 따른 제어 또는 연소실에 물을 분사하는 제어장치를 설치한다.
- 총소구 : 로내의 청소, 점검, 보수 등을 위하여 설치하는 청소구는 사람과 보수기자재의 출입이 충분한 크기로서 하여야 한다. 내열유리를 사용하고 연소가스가 누출되지 않는 밀폐구조로 하여야 한다. 그리고 매연이나 분진에 의해 유리가 더럽혀지는 것을 방지할 수 있어야 한다.
- 투시구 : 로내의 연소상황을 감시하기 위한 것으로 필요한 시야를 확보 할 수 있는 충분한 크기으로써 내열유리를 사용한다.
- 안전변 : 소각물의 폭발이나 정전 등 불시의 사고에 대비한 안전변이 설치되어 있어야 한다.

4. 유동층 소각로 설계

가. 유동화 이론

$$F = SLmf(1 - \epsilon mf)(\rho_s - \rho_g)G$$

여기서 Lmf : 최소유동화도달시 베드층 높이(m)

ϵmf : vacuum Fraction

ρ_s/ρ_g : 모래 및 유동 공기의 밀도(kg/m³)

S : 베드층면적

LEVA 제안식(최소유동화 속도)

$$V_{mf} = 0.0009 [g(\rho_s - \rho_g)]^{0.934} \frac{D_p^{1.8}}{\mu^{0.87} \rho^{0.006} g}$$

여기서 Dp : 모래입자의 상당직경값(m)

μ : 유동공기의 viscosity

※ 모래 크기 1.1mm기준 할때 최소유동화속도. ()는 0.8mm

공기온도	80℃	500℃	750℃
Vmf	0.85m/s (0.48)	0.52m/s	0.42m/s (0.24)

운전범위는 최소 유동화 속도보다 1.2배로 시작하여 최대는 약 2-10배 정도까지이다. 또한 carry over라 하여 가스속도에 의하여 분진 및 모래입자가 소각로를 이탈하는 현상이 있는데 운전시 주의해야 한다.

나. 유동모래

구분	coarse	Medium	Fine	비고
전체범위	1.8-2.6	1.3-1.6	0.8-1.0	평균1.1
유효범위	1.7-1.8	1.0-1.6	0.6-0.65	
중량비	20%	50%	30%	

다. 설계 실례

1) Tuyere Eye(Lid)통과속도 계산.

가. Q = 15,000Nm³/h r(대기온도 20℃로 계산)

$$15,000 \times (273 + 20) / 273 = 16,099 \text{Nm}^3/\text{hr} = 4.472 \text{m}^3/\text{sec}$$

나. 1Eye(hole)당 통과유량(현품기준)

$$4.4719 / 10,494 = 0.000426 \text{m}^3/\text{sec}$$

다. 속도계산(현품기준)

$$Q = A \times V$$

$$0.00426 = 8.9 \times 10^{-6} \times v$$

$$V = 47.86 \text{m/sec}$$

마. 1Eye당 통과 유량(도면기준)

$$4.4719 / 15,294 = 0.000292395 \text{m}^3/\text{sec}$$

바. 속도계산(도면기준)

$$0.000292395 = 3.26 \times 10^{-6} \times v$$

$$V = 89.69\text{m/sec}$$

※ 선진기술사에서는 80~100m/sec를 추천함.

2) 노내 유속 계산 설계기준

가) 배가스량 계산

$$\begin{aligned} Q &= 14,850\text{Nm}^3/\text{hr, at } 871^\circ\text{C} \\ &= 14,850 \times (273+871)/273 = 62,228.6\text{Am}^3/\text{hr} \\ &= 17.29\text{Am}^3/\text{sec} \end{aligned}$$

나) 단면적 계산

(Bed층 직경 3.96m, Free Board층 직경 4.88m)

다) 속도 계산

$$Q = A \times V_B$$

$$17.29 = \pi \times (4.88/2)^2 \times V_B$$

$$V_B = 17.29/12.3 = 1.41\text{m/sec}$$

- Free Board층에서

$$17.29 = \pi \times (4.88/2)^2 \times V_F$$

$$V_F = 17.29/18.69 = 0.93\text{m/sec}$$

※ 선진기술사 Data에서는 1.0m/sec로 정함.

라) 체류시간 (Retention time)

$$R = 143\text{m}^3/17.29 = 8.27\text{sec}$$

※ 법규상 2초 정도 유지하며 통상 6초 이상 유지함.

3. 노즐 유속 계산(운전기준)

가. 배기가스량 계산

- Q1 = 16,000Nm³/hr인 경우

$$16,000 \times 4.19 = 67,040\text{Am}^3/\text{hr} = 18.62\text{Am}^3/\text{sec}$$

- Q2 = 13,000Nm³/hr인 경우

$$13,000 \times 4.19 = 54,470\text{Am}^3/\text{hr} = 15.13\text{Am}^3/\text{sec}$$

- Q3 = 18,000Nm³/hr인 경우

$$18,000 \times 4.19 = 75,420\text{Am}^3/\text{hr} = 20.95\text{Am}^3/\text{sec}$$

나. 속도 계산

- bed 층에서

$$\bullet V_{b1} = Q1/A = 18.62/12.3 = 1.5\text{m/sec}$$

$$\bullet V_{b2} = 15.13/12.3 = 1.23\text{m/sec}$$

$$\bullet V_{b3} = Q1/A = 18.62/12.3 = 1.5\text{m/sec}$$

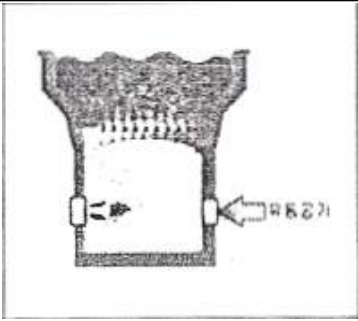
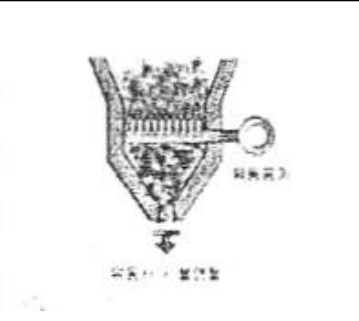
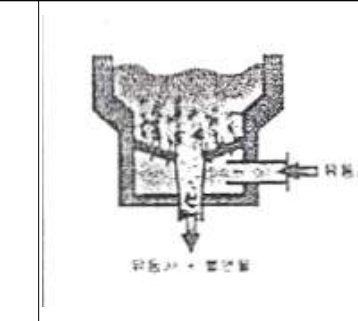
- Free board층에서

$$\bullet V_{f1} = Q1/A = 18.62/18.69 = 0.996\text{m/sec}$$

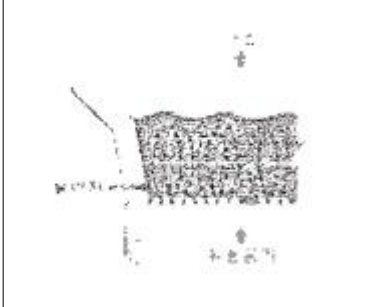
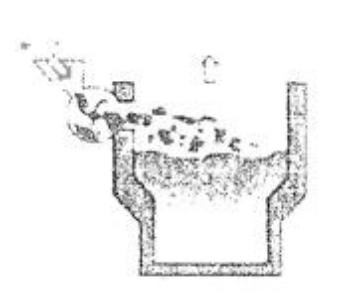
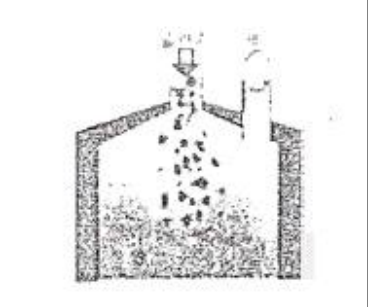
$$\bullet V_{f2} = 15.13/18.69 = 0.80\text{m/sec}$$

$$\bullet V_{f3} = 20.95/18.69 = 1.12\text{m/sec}$$

다. 소각로별 산기 형식

구분	분산판 방식	분산관 방식	조합형
구조			
원리	평판구조의 산기판에 여러 개의 산기노즐을 취부하여 유동공기 공급	콘(cone)형태의 하부구조에 산기관을 설치하고 산기노즐을 취부하여 유동공기 공급	중앙부로 경사진 산기판에 산기노즐을 취부하여 유동공기 공급
특징	노즐이 방사형으로 설치되어 균등한 유동공기 공급 유동사 순환장치가 필요없음. 기동 및 정지가 용이함. 내화물로 구성되어 열팽창 문제 없음.	불연물 배출을 고려한 방식으로 생활폐기물, 슬러지 등에 적합함. 유동사에 의한 산기관 마모가 심함. 유동사의 소모가 많고 열손실이 큼. 초기운전시 유동사의 유동이 어려움.	중앙부를 향하여 수평방향으로 유동화가 진행되므로 유동효과 불량. 유동사 순환장치가 필요하며 이에 따른 유동사 및 열손실이 큼. 초기 운전시 유동상의 유동이 어려움.

마. 소각로별 슬러지 주입방안

구분	하부주입방식	Spreader주입방식	프로보드 상부 주입방식
구조			
원리	유동층 하부4개소에 피스톤 펌프에 주입	소각로 중앙부 1개소 Spreader에 의해 주입	프리보드 상부 중앙에서 중력에 의한 주입
특징	고점성 슬러지 주입 용이 연소영역 증대 고장없이 정량 투입 가능 노내 온도 편차 없이 균일한 연소기능	고점성 슬러지 주입 곤란 덩어리 상태로 주입되어 연소효과 미흡 연소영역이 작아 미연분 발생 노내 온도 편차 심함.	고점성 슬러지 주입 곤란 가스배출구가 측면에서 있어 프리보드부 가스온도 편차가 심함. 투입장치의 고온 열화에 의한 수명 단축

5. 회전식 소각로 설계

가. 직경 계산

Q = Av에 의거

나. 길이계산

1) 노내 용적에 의거

$$L1 = \text{노내용적} / (D^2 \times \frac{\pi}{4})$$

2) 노내면적에 의거

$$L2 = \text{노내면적} / (D \times \frac{\pi}{4})$$

3) L3(형상비) = 지름×F

통상 L/D는 3~4로 결정

$$\text{길이평균} = (L1 + L2 + L3) / 3$$

다. 회전속도(RPM)계산

$$n = 10 \sim 12 \times L / T / D / \alpha \quad \alpha = \sin^{-1}(\theta)$$

여기서 L:길이, T: 체류시간, D: 직경, α (통상 기울기는 3~7°)

라. 체류시간 계산 $T = \frac{1 - 2 \times \sqrt{\theta} \times L}{N \times \alpha \times D}$

여기서 θ = 원료 안식각(통상 30~50°임)

마. 노용적 부하

k = 폐기물 시간당 단위 중량당 발열량/노내용적

통상 노용적 부하는 $13 \sim 15 \times 10^4 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{hr}$ 임.

상기에서 언급한 항목이외에도 철판 두께, 내화물, 감속기, 기어, TIRE RING, 2차 연소 실 산정 등 많은 설계요인이 있으나 지면상 생략하기로 한다.

바. 설계실례

1) Diameter Calculation

Gas Volume은 $35632.8 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ 로 가정하고

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{(Q \times (Gas Temp + 273) / 273 / 3600 / 6 / (\pi/4))} \\ &= \sqrt{(35633 \times (1055.8 + 273) / 273 / 3600 / 6 / (\pi/4))} = 3.2 \text{ m} \end{aligned}$$

2) kiln Length calculation

$$\begin{aligned} L1 &= \text{노내용적} / (\text{kiln dia}^2 \times (\pi/4)) \\ &= 67 \text{ m}^3 / (3.2^2 \times (\pi/4)) \\ &= 8.3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L2 &= \text{노내면적} / (\text{kiln dia} \times (\pi/4)) \\ &= 22.3 \text{ m}^2 / (3.2 \times (\pi/4)) \end{aligned}$$

$$= 6.6\text{m}$$

$$L3 = \text{kiln dia} \times \text{형상비}$$

$$= 3.2\text{m} \times 3.7 \text{로 가정}$$

$$= 11.83\text{m}$$

$$\text{※ Length Average : } (L1+L2+L3)/3 = 8.9\text{m(L)}$$

9m or 10m로 결정, 이때는 기존 제작사와 협의하여 표준품을 구입하여야함.

3) kiln rpm. Calculation (sample)

$$N1 = 1.2 \times 8.3\text{ml}/120\text{min}/3.2\text{m}/\sin^{-1}(3/100) = 0.14\text{rpm}$$

$$N2 = 1.2 \times 6.6\text{ml}/120\text{min}/3.2\text{m}/\sin^{-1}(3/100) = 0.11\text{rpm}$$

$$N3 = 1.2 \times 11.3\text{ml}/120\text{min}/3.2\text{m}/\sin^{-1}(3/100) = 0.19\text{rpm}$$

$$\text{※Average rpm } (N1+N2+N3)/3 = 0.147\text{rpm}$$

4) 노용적 부하(폐기물분)

$$\text{노내 용적} = 67.0\text{m}^3$$

$$\text{INCINERATION CAPACITY} \times H_u = 1,672\text{kg/h} \times 6,006\text{kcal/kg}$$

$$= 10,042,032\text{kca/hr}$$

$$\text{노용적 부하} = 10,042,032(\text{kcal/hr})/67.0(\text{m}^3)$$

$$= 149,881\text{kcal/m}^3\text{-hr}$$

사. 다이옥신 생성 제로 및 완전연소를 위한 고온 열분해식 소각로 구성



본 소각 공정은 후연소+추가연소로 채택 및 다이옥신 재합성공정의 skip을 통한 소각 고효율을 유도한 case로 소개한다. 또한 배가스 설비 구성은 다음과 같다.

1) 습식 배가스 설비구성 사례

가) Wet Scrubber+DI+Wet E.P+Stack

나) MC+Wet E.P+Stack

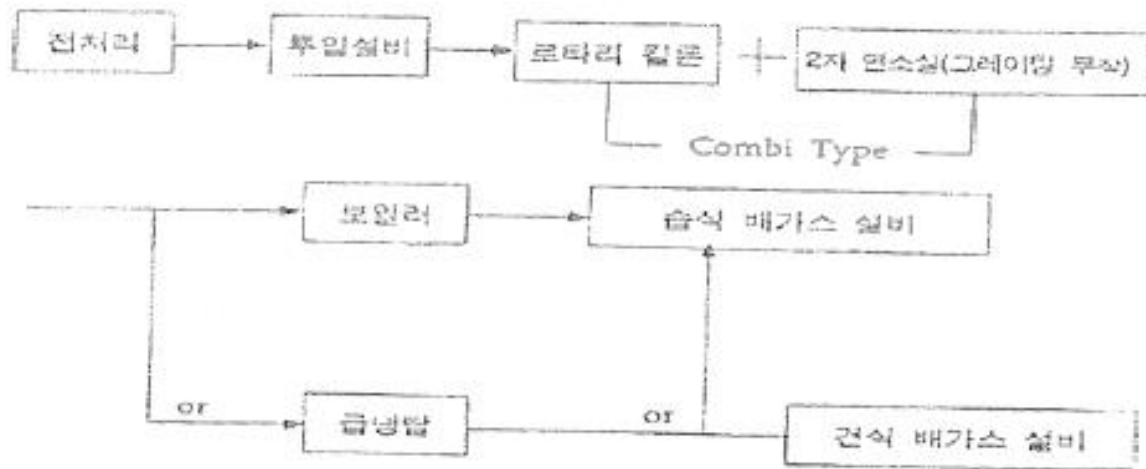
2) 건식 배가스 설비구성 사례

가) MC+SDR+DI+Bag Filter+Stack

나) DI+Bag Filter+SCR+Stack

다) SDR+DI+Bag Filter+SCR+Stack

아. 액상, 고상 폐기물의 혼소 및 고효율 고온 열분해 소각로 구성



본 소각 공정은 클링커 발생은 최소화 할 수 있으며 다양한 산업 폐기물(감염성 포함)소각 처리가 가능하며 로타리 킬른 및 스토카의 장점을 십분 활용 할 수 있는 시스템이라 생각한다. 즉 2차 연소실에서 초기투입량 20~30%를 재연소한다는 개념의 프로세스로써 국내에서도 실적이 다수 있다.

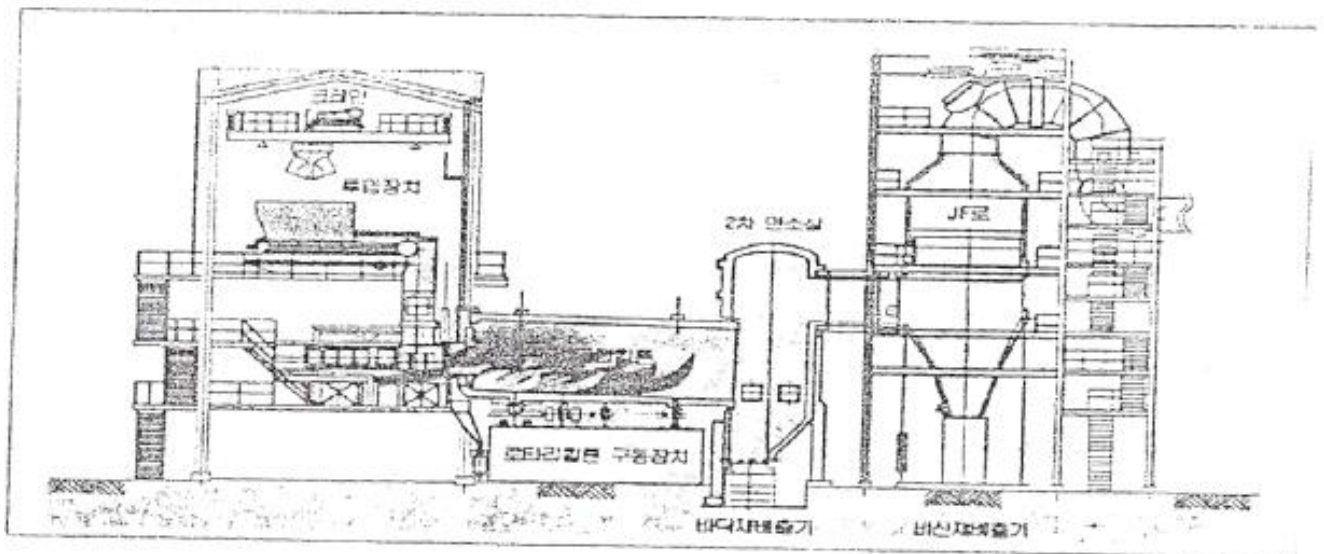


사진 2. 로타리킬른 소각시스템 입면도