

소각시설과 다이옥신 제어(포항공대 특강)

김 중 석 (환경관리공단 전무이사)

목차

- 1 국내 폐기물발생량과 관리현황
 - ♣ 폐기물발생량
 - ♣ 폐기물구성
 - ♣ 폐기물과 환경오염

- 2 폐기물처리현황
 - ♣ 각국별 처리현황

- 3 소각시설의 종류 및 현황
 - ♣ Stocker의 종류
 - ♣ 소각오염물질
 - ♣ 다이옥신 특성, 생성, 배출, 저감방안의 상호관계

- 4 향후소각시설이 갖추어야할조건

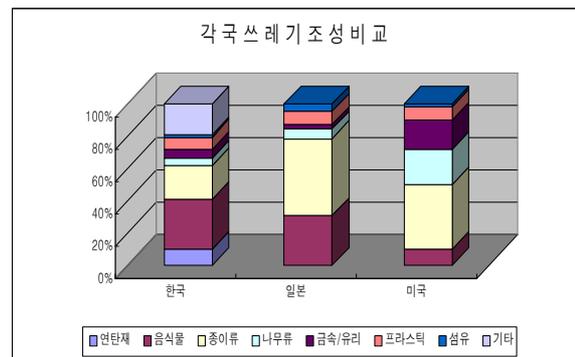
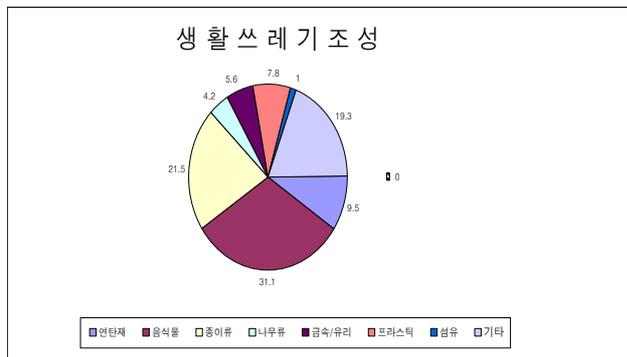
1. 국내 폐기물발생량과 관리현황

♣ 폐기물발생량

	생활쓰레기	지정 폐기물	사업장일반폐기물	건설폐기물	총량	비고
발생량(톤/일)	49,925	5,238	96,984	28,425	180,572	
(%)	27%	3%	55%	16%	100%	

☞ 생활폐기물 + 사업장일반폐기물 = 폐기물의 81% 점유(일반폐기물)

♣ 폐기물조성



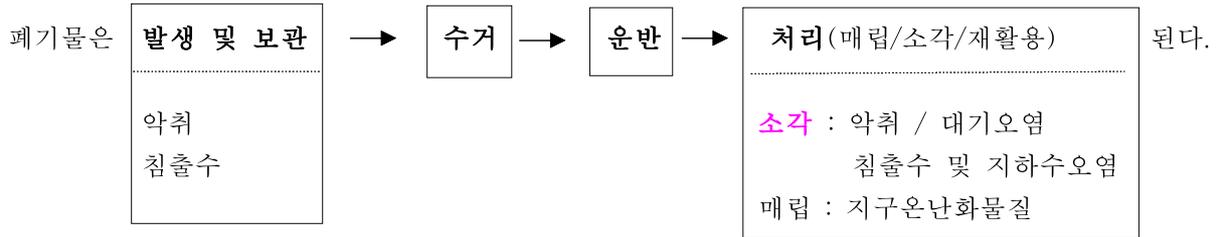
☞ 국내 생활폐기물의 조성은 종이류 나무류 등 가연 성분이 일본 미국등에 비하여 낮음.

항 목	한국	일본	미국
수 분(%)	25.6	42.0	24.0
휘발성고형분(%)	22.3	46.7	52.0
고정고형분(%)	52.1	11.3	46.7
발열량(LHV Kcal/Kg)	1,400	1,800	2,400

☞ 사업장일반폐기물중 유해물질함량이 기준초과된 것을 지정폐기물이라 함

지정폐기물 중 특히 문제를 제기할 수 있는 것은 다이옥신이며 소각에서 발생되고 있는 소각 회분 중에는 다이옥신이 함유되어 있으나 아직 다이옥신을 검사하고 있지는 않고 있다.

♣ 폐기물과 환경오염관계



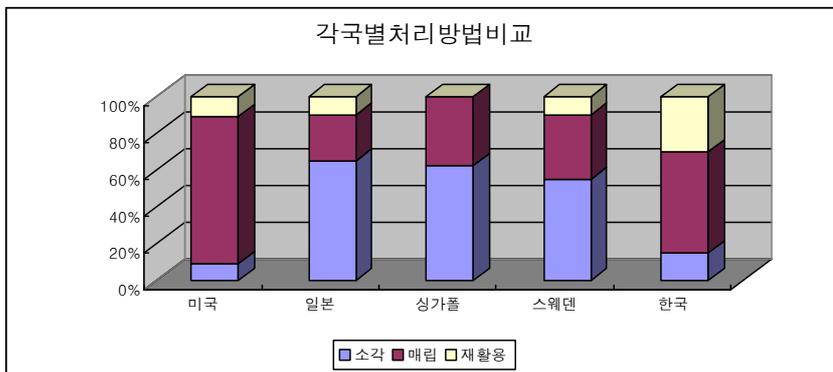
최근에는 Criteria pollutants / Hazardous pollutants / endocrin disruptors 등 다양한 오염문제를 유발.

2. 폐기물처리현황

	생활폐기물	지정폐기물	사업장일반폐기물	건축 폐기물	계
계	49,925(100%)	5,298(100%)	96,984(100%)	28,425 (100%)	180,632(100)
소각	2,725 (5%)	704 (14%)	5,665 (6%)	8,48 (6%)	9,942(5%)
매립	34,116(68%)	381 (7%)	24,743(28%)	10,988 (39%)	70,228(39%)
재활용	13,083(27%)	2,433(46%)	66,586(68%)	16,589 (58%)	98,691(55%)
해양투기	-				
보관	-				
퇴비화	-				
기타					

국내 폐기물의 주처리방법은 재활용과 매립이다. 소각은 아직은 5~7% 정도이다.

♣ 각국별 처리방법의 비교



- ☞ 한국은 매립이 총처리량의 39%, 미국은 80%, 일본은 20%이다.
- ☞ 일본,싱가폴, 스웨덴은 소각이 각각 70%, 55%, 63%이다.
- ☞ 한국은 재활용이 폐기물발생총량의 55 % 이상이다.
현재 소각율은 10 % 미만이지만 2005년 까지는 폐기물 발생총량의 약 40% 까지 소각계획

3. 소각시설의 종류 및 현황

소각시설은 단위공정이 집합된 종합공정이다.

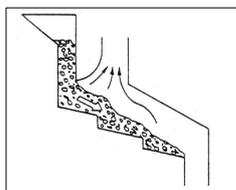
Pretreatment process	Combustion process	Heatrecovery process	Draft process	Pollution control process
파쇄 자석선별 건조 탈수 기타	상연소방식 고정화격자 회전로상 다단로상 화격자연소 가동화격자 유 동 상 부유연소 Cyclone 분무연소 건류연소 열분해연소 프라스마(PEM) 기 타	Boiler Economizer	Induced Forced	입자상물질처리 집진기류 가스상물질처리 각종가스포집장치 Afterburner 각종산화촉매산화기

♣ 각종연소공정의 Mechanism

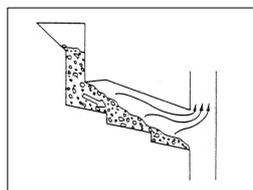
연소 = 고상연소 + 기상연소(2차연소)

- 예 ☞ Stocker식 연소실 : ① 향류식연소실(Counter flow system)
 ② 병류식연소실(Parallel flow system)
 ③ 교류식연소실(Transverse flow system)
 ④ 2회류식연소실(Double gas flow system)

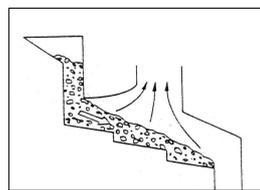
① 향류식연소실



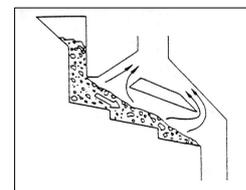
② 병류식연소실



③ 교류식연소실



④ 2회류식연소실

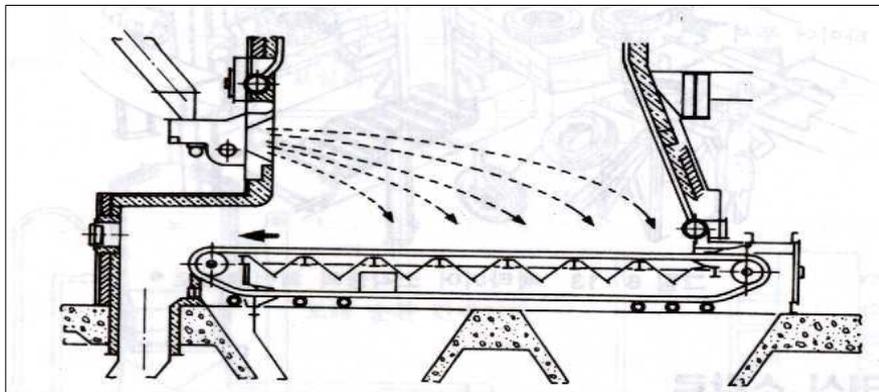


♣ Stocker의 Grate 종류

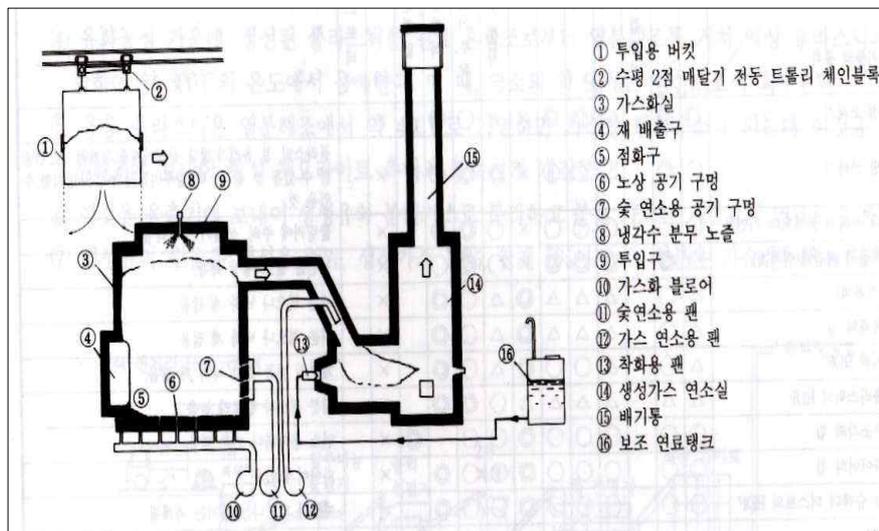
- Travelling grate(이동 화격자)
- Reversed feed grate(후진역송식 화격자)
- Pushing grate(전진 화격자)
- Roller grate, Rotary kiln grate(원통 화격자)
- Wavy swing grate(파동 화격자)
- Tumbling grate(반전 화격자)
- Multisteped pushing grate(계단식 화격자)

♣ 소각로 종류

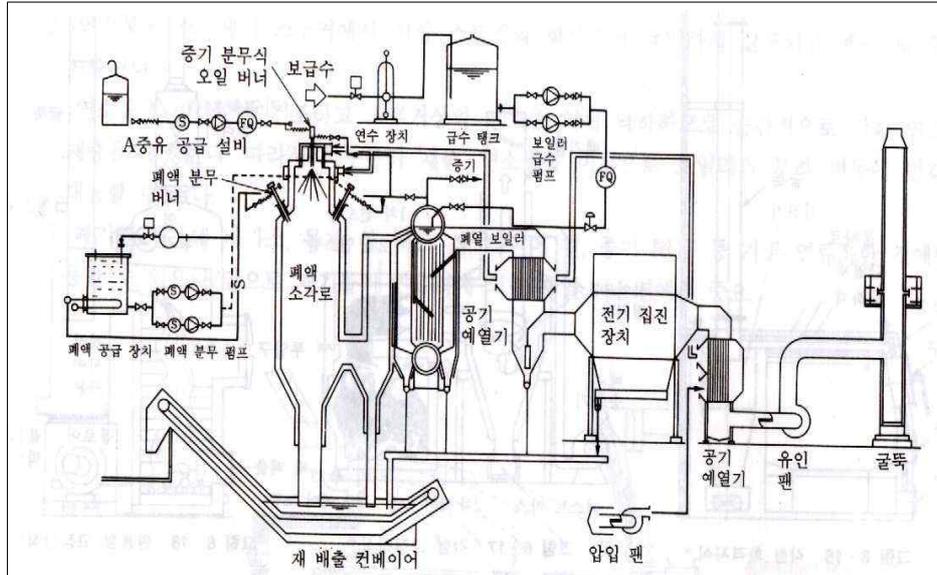
☞ 부유연소소각로(Spreader Stocker)



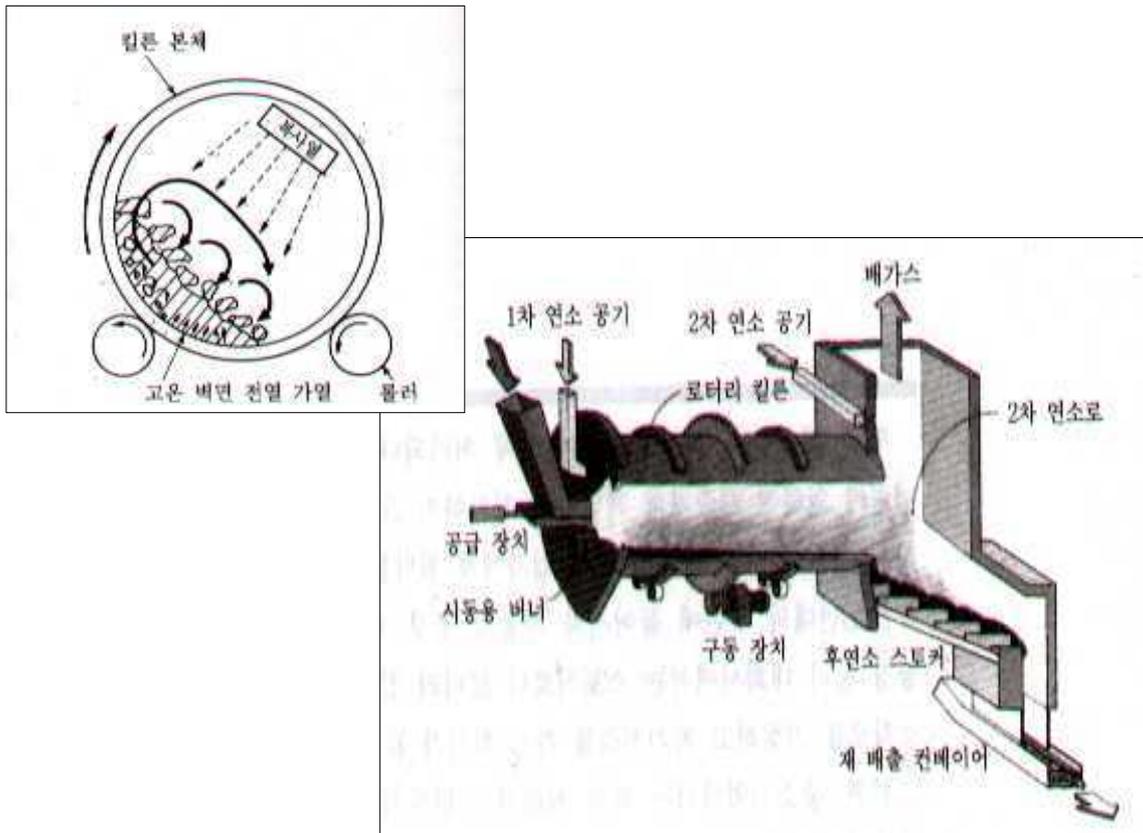
☞ 건류연소소각로(Starved-air Incinerator)



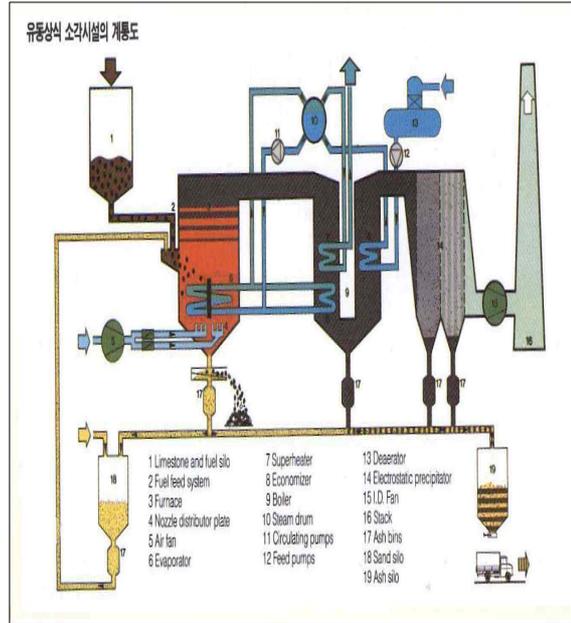
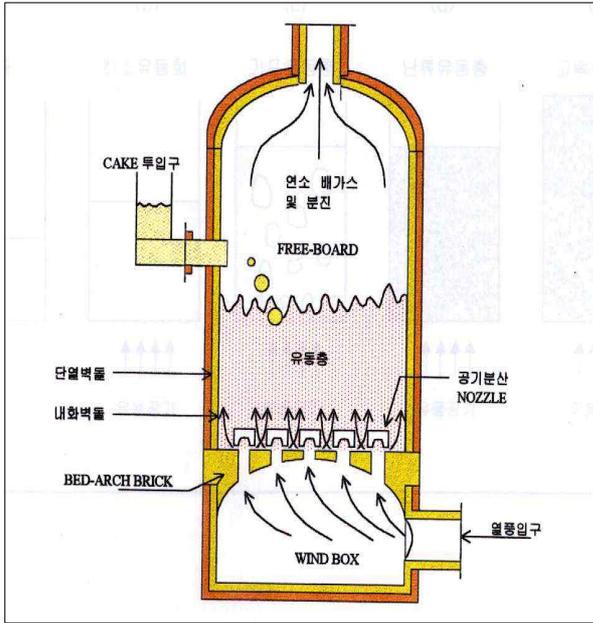
☞ 액체분무연소소각(Liquid Injection Incinerator)



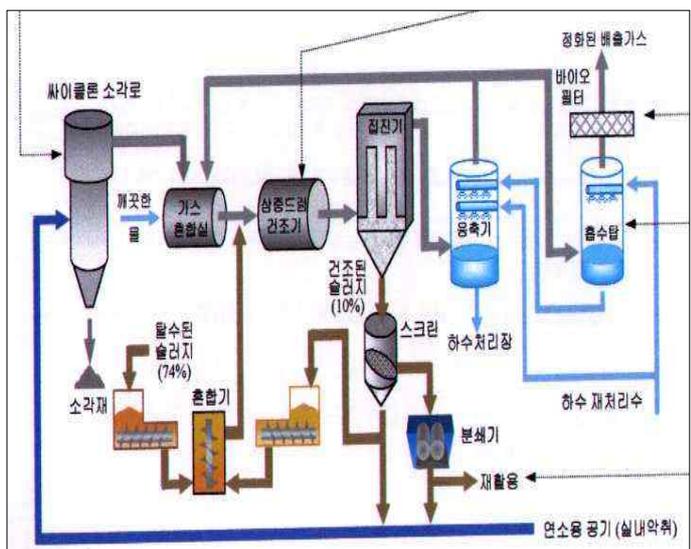
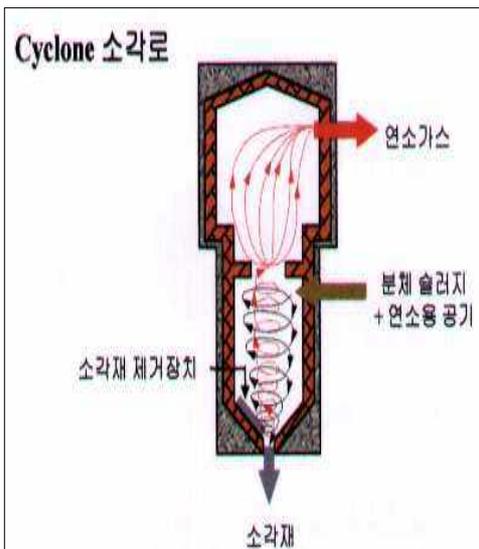
☞ Rotary kiln incinerator



유동층소각로(Fluidized bed incinerator)

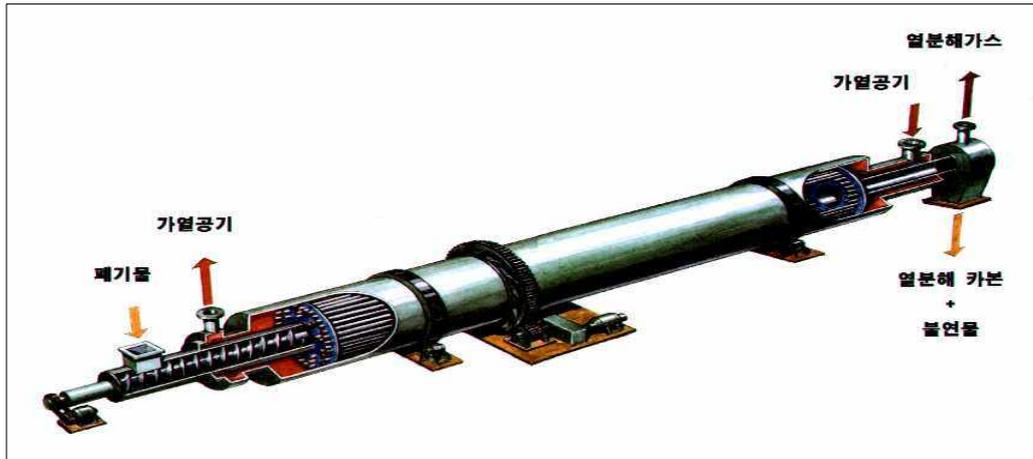


사이클론 소각로(Cyclone incinerator)

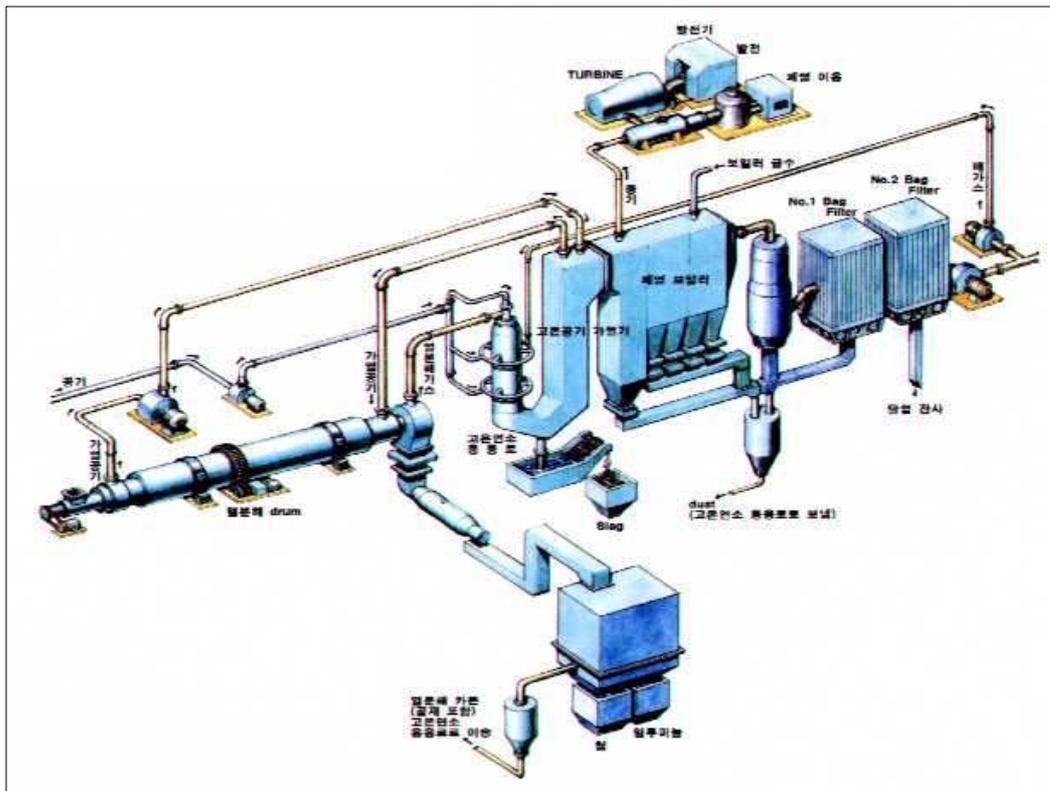


☞ 열분해연소소각로(Pyrolysis Incinerator)

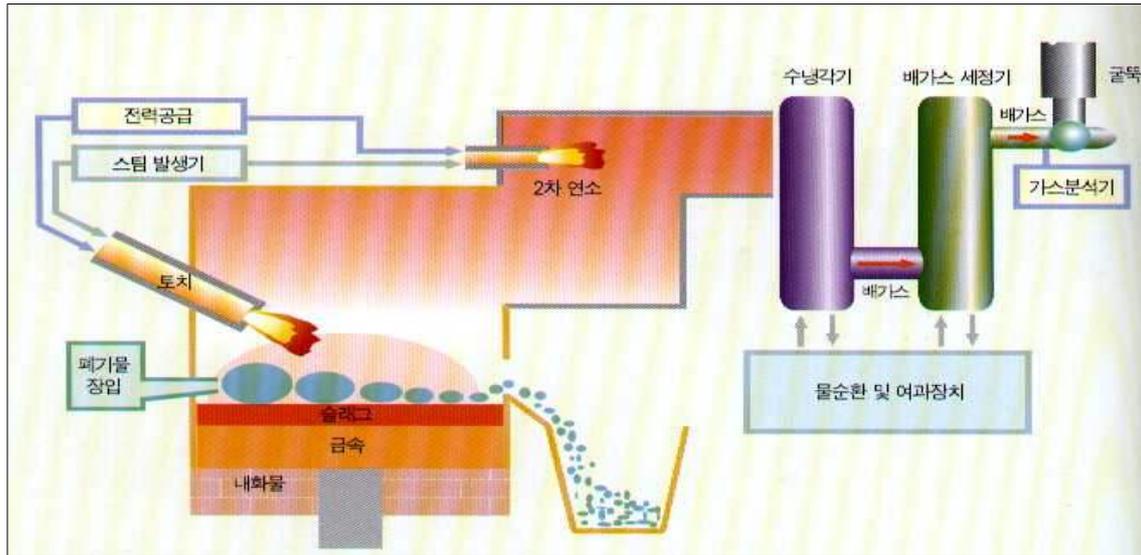
▷ 열분해(Pyrolysis) 드럼



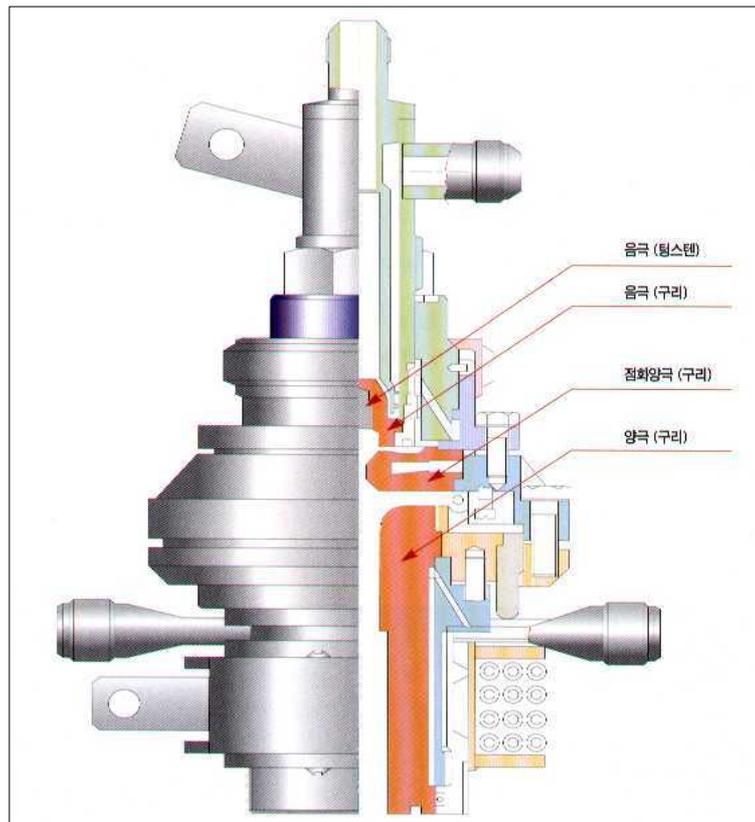
▷ 시스템 구성도



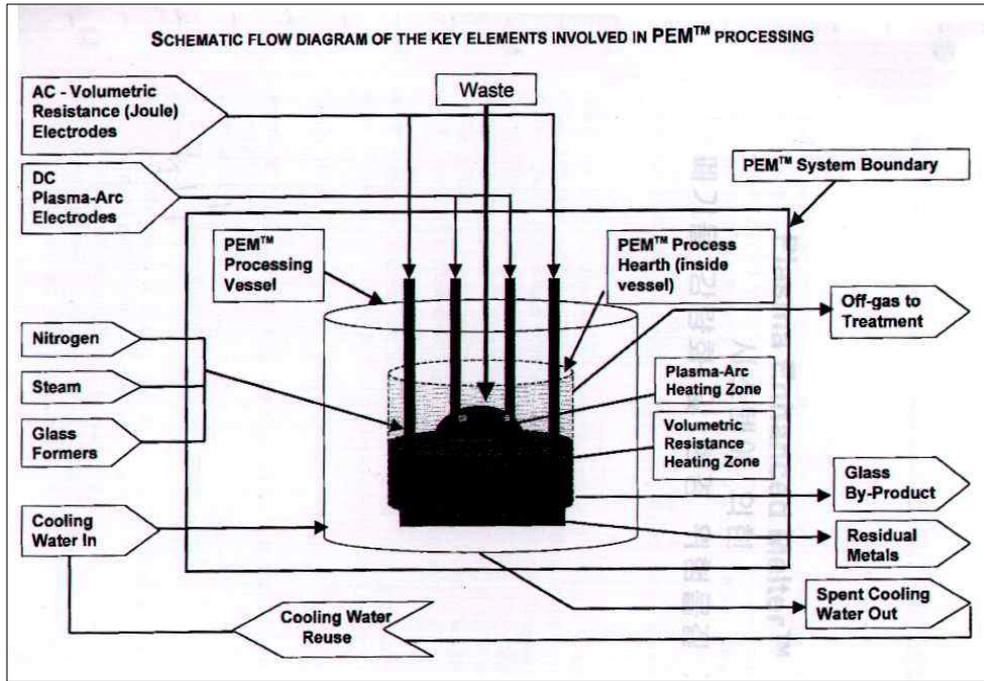
☞ Plasma incinerator



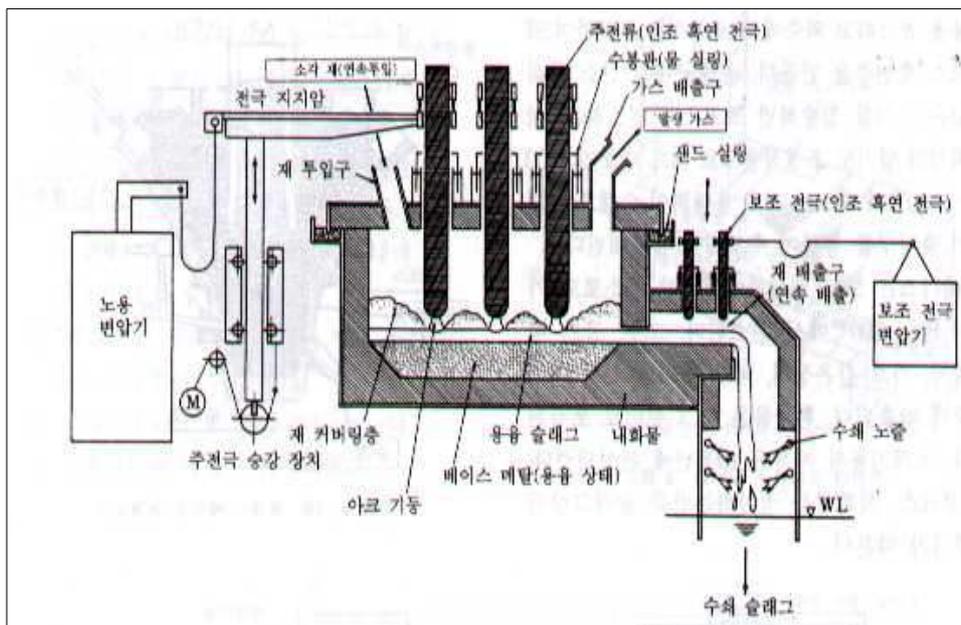
▷ Plasma torch



☞ Plasmaenhanced melter



☞ Arc furnace incinerator



☞ 소각로 종류별 특징

소각로	특 징	배 출 가 스
Stocker	<ul style="list-style-type: none"> - 노내온도 850~950℃ - 연속적인 소각과 배출이 가능하다. - 수분이 많은 것과 저발열량의 것도 소각이 가능하다. - 현재 가장 많이 설치 운전중이다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 분진 - 산성가스, 중금속, 다이옥신등
Starved-air Incinerator	<ul style="list-style-type: none"> - 건류온도 350~450℃ - 건류가스는 2차연소실에서 연소. 	<ul style="list-style-type: none"> - 분진 발생은 적은 편 - 산성가스 주종
Liquid Injection Incinerator	<ul style="list-style-type: none"> - 액상폐기물의 소각에 이용된다. - 재처리 설비가 필요없다. - 구동장치가 없어 고장이 적다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 산성가스, 중금속, 다이옥신 등
Rotary Kiln Incinerator	<ul style="list-style-type: none"> - 노내온도 850~1600℃ - 넓은 범위의 액상.고상 폐기물 소각이 가능하다. - 공기유출이 크므로 대량의 과잉공기가 필요하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 분진 발생율이 높다. - 산성가스, 중금속, 다이옥신등
Fluidized Bed Incinerator	<ul style="list-style-type: none"> - 노내온도 850℃ 이상 - 열매체로 모래 사용 - 보조연료 없이 정지후 가동이 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 분진 발생율이 높다. - 산성가스, 중금속, 다이옥신등
Cyclone Incinerator	<ul style="list-style-type: none"> - 노내온도 850℃ 이상 - 보조연료 없이 소각이 가능하다. - 열매체가 없어 간헐 및 연속운전이 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 분진 - 산성가스, 중금속, 다이옥신 등
Pyrolysis Incinerator	<ul style="list-style-type: none"> - 350~ 600℃에서 폐기물 탄화 - 발생된 가스 와 tar 및 char는 2차 연소실에서 용융 시킴 	<ul style="list-style-type: none"> - 다이옥신 및 중금속 발생이 없다. - 산성가스처리시설 필요
Plasma Incinerator	<ul style="list-style-type: none"> - 노내온도 1500℃ 이상 - 토치 내부에서 방전 발생 (전압 500~800v) - 플라즈마 가스: 공기, 스팀, 질소 등 - 모든폐기물을 연료가스 또는 슬래그 형태로 전환시킨다. - 토치의 사용시간이 짧다(약200hr) 	<ul style="list-style-type: none"> - 다이옥신 및 중금속 발생이 없다. - 플라즈마가스로 공기를 사용할 경우 NOx 발생 - 산성가스처리시설 필요
Arc Fur' Incinerator	<ul style="list-style-type: none"> - 노내온도 1400℃ 이상 - 노상 및 폐기물을 earth시켜 아크 가열 - 폐기물은 용융 	<ul style="list-style-type: none"> - 다이옥신 및 중금속 발생이 없다. - 산성가스처리시설 필요

♣ 국내 소각로 종별현황.

국내소각로는 편의상으로 대형/중형/소형으로 구분하고 있다.

☞ 대형소각로 (50톤/일 이상)	☞ 중형소각로 (200kg/h~50톤/일)	☞ 소형소각로 (200kg/h 이하)
i 대부분도시쓰레기(MSW)소각로. 도시쓰레기소각로(약 30개소 스톡러) 회전소각로 유동상소각로 ii 일부스러지(Sludge)소각로 유동상소각로 다단소각로 싸이크론소각로 전기로	i 대부분지정 폐기물소각로 유동상소각로 Rotary kiln 다단소각로 액분사소각로	i 산업장on-site소각로 대부분 Retort type 병원폐기물소각로
시설수 93개소(0.6%) Total Capacity 528T/h(38.2%) Operating 311T/h(76.7%)	327개소(2.4%) 194T/h(14%) 55T/h(13.5%)	13,421개소(97%) 660T/h(47.8%) 40T/h(9.8%)

☞ 도시쓰레기소각로 부분이 주종을 이룰 전망이다. 현재 도시 쓰레기 소각로는 대부분이 Stocker type로 구성되어 있어 새로운 기술의 소각시설이 국내 MSW에도 적용이 필요하다.

MSW 분해용용소각기술실용화기술도입필요
 독일 100톤/일 2기, 400톤/일 등 다수가 가동중임.
 일본 25톤/일(지바), 200톤/일(가와사키) 가동중임.

♣ 국내 중요 MSW소각시설현황

	서울	부산	대구	광주	대전	인천	경기	경남	계
Stocker	5	3	3		1		5	1	18
FBC							1		1
Rotarykiln									
Pyrlrisis									
Plasma									
Total	5	3	3		1		6	1	19

국내 MSW는 스톡러위주로 건설되어 있어 환경 성능측면에서 선진국의 MSW소각기술을 참고할 필요가 있지 않나 생각된다.

♣ 소각오염물질과 규제

MSW 오염물질

(단위:mg/Sm³,ppm)

오염물질		선진국규제지침 (O ₂ 10~12%)	국내기준 (O ₂ 12%)	국내현황
불완전 연소 산물	DXN	0.1~0.2ng/Sm ³	0.1~0.5ng/Sm ³	
	CO	50~100	30	10~30
	TOC	10~20	-	-
	VOC	2	-	-
	HCN	0.5	10	1~3
	PAH	0.1	-	-
	PCB	0.05	-	-
산성 가스	HCl	10~100	50	10~30
	SOx	40~300	300	10~100
	NOx	50~245	200	80~150
	HF, HBr	0.7~5	3~5	1~2
	P ₂ O ₅	5	-	-
먼지		10~100	80	5~50
중금속	Hg	0.05~0.1	5	~0.005
	Cd	0.05~0.1	1	~0.0001
	As, Co, Se, Ni	1	As: 3, Ni: 20	ND
	Pb, Cr, Cu, Zn, Mn	1~5	1~30(Mn외)	0.001~0.02

폐기물 종별 발생 가능오염물질

	Criteria pollutant	Hazardous pollutant	VOC	TOC	Smoke	Oder	Ash
도시쓰레기	○	○	○○	○			
지정폐기물	○	○○○	○○	○			
하수스룻지	○			○			
폐수스룻지	○	○		○			
병원폐기물	○	○○		○○			
폐유	○	○○○	○○○	○○○			

☞ criteria pollutants : SOx, NOx, CO, O₃, dust. (HC)

☞ Hazardous pollutants : **heavy metals**(Pb,At,As,Bi,Cd, Cr, Co, Mg, Ni, Se, P,..)

TOC(phenol,benzo(a)pyrene,trichloroethylene,dichlorobenzene)

Dioxine.

☞ 소각시설에서는 환경기준오염물질, 악취, 유해물질 등 혐오성과 유해성이 강한 오염물질이 다중 발생할 수 있어 소각시설이 주민 혐오시설로 분류되는 요인이 되고 있다.

♣ 국내 소각로 대기오염방지법

- 1986년 악취, 환경기준오염물질기준 제정관리
- 1987년 염소물질, 중금속등 관리
- 1990년 소각로 배출허용기준제정(Criteria pollutants, Hcl gas, Heavy metals,)
- 1995년 소각시설 다이옥신배출허용권고안 제정시행.(MSW소각시설에 방지시설설치)
- 1997년 다이옥신 기준 제정 관리
 - 기준시설 : 0.5 ng/M3(현재 18개 시설, 공해방지시설개선)
 - 신규시설 : 0.1 ng/M3(현재 3개 시설)

♣ 각국의 다이옥신 배출허용기준

각국의 다이옥신 배출허용기준

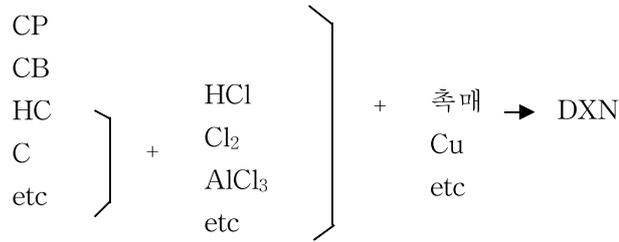
국 가	기준(ng/Nm3)	CO2 %(월평균)	신설(ng/Nm3)	CO2 %(월평균)
스웨덴	0.5 ~ 2.0(E-TEQ)	10	0.1(E-TEQ)	10
독 일	0.1 (E-TEQ)	11(일평균)		
홀랜드	0.1 (E-TEQ)	11(월평균)		
노르웨이	2 (E-TEQ)			
오스트리아	0.1 (E-TEQ)			
미 국	60(PCDD+ PCDF)		30(PCDD+ PCDF)	
카나다	0.5 (1-TEQ)	11%		
일 본	0.5 (TEQ)		0.5 (TEQ)	

E-Eadon 환산 1- international 환산, 이성체.동족체의 2378 TCDD의 독성환산방식(TEQ)은 NATO-CCMS(Committee on the Challenges of Modern Society), Nordic등이 있으나, 이들은 같은것이다.

방법이 E보다 TEQ값은 약간 커지나 뒤의 방법을 사용해도 대차는 없으며 아래식이 성립한다.

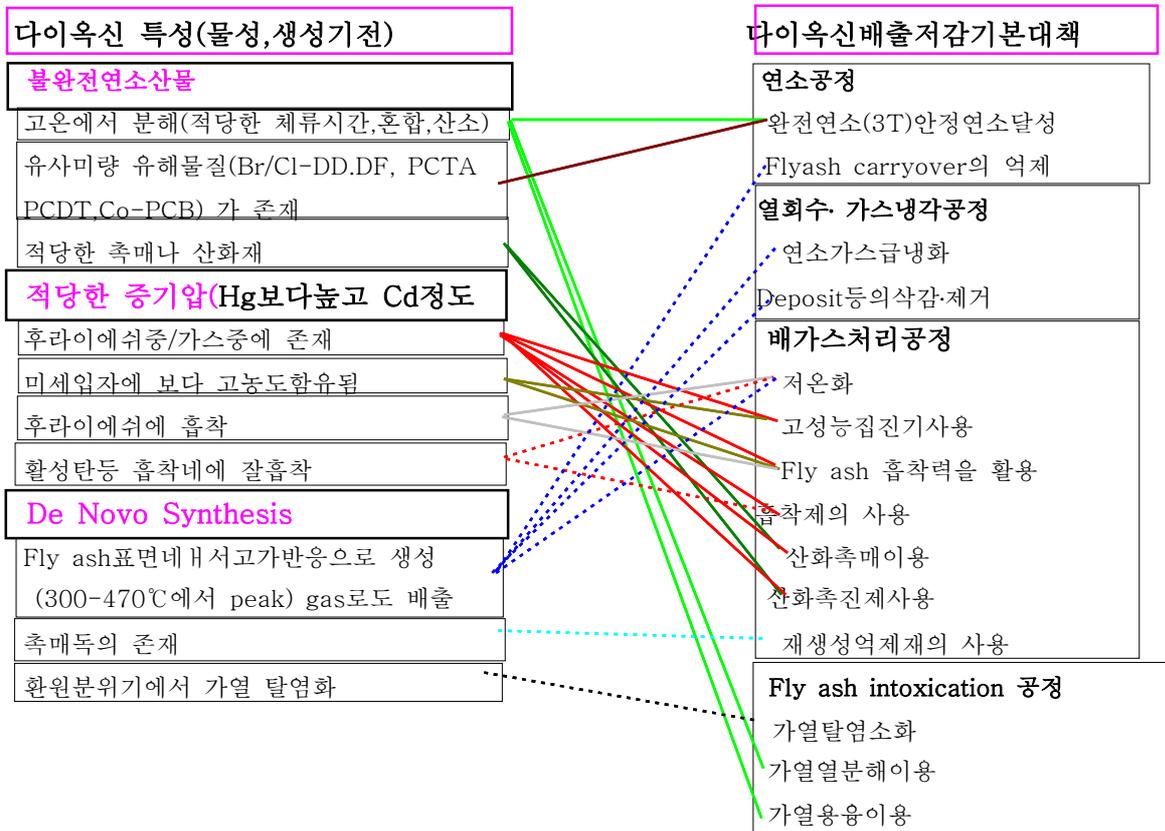
$$TEQ = (0.01 \sim 0.015) * \Sigma(PCDD+PCDF) \text{이고 } CI = 4 \sim 8 \text{ 이다.}$$

♣ 다이옥신생성매커니즘



다이옥신 연소공정에서 전구물질이 기상반응, 고상반응, 기고반응 등을 통하여 형성된다. 특히 **De Novo Synthesis** 란 과정이 잘 알려져 있다.

♣ 다이옥신 특성 생성 배출저감방안의 상호관계



☞ 다이옥신제어방법

다이옥신은 연소공정중 불완전연소산물인 전구물질이 De Novo Synthesis로 재합성되는 것이 중요한생성요인이다.

완전연소가 필요하므로 소각로의 연소관리에 **Good Combustion Practice** 가 필요.

각국의 다이옥신저감을 위한 소각시설의 GCP 일반

노형식		전연속식		준연속식·기계화배치식		교정식	
		신설	기설	신설	기설	신설	기설
쓰레기처리시설	연소온도	800℃ 이상	800℃ 이상	800℃ 이상	800℃ 이상	800℃ 이상	800℃ 이상
	가스체류시간	전보일러식 2초이상 기타방식 1초이상	-	1 초이상	-	1 초이상	-
	연돌출구	50ppm이하	100ppm이하	100ppm이하	200ppm이하	200ppm이하	
	CO농도	30ppm이하				(극력저감)	
	노출구 O2농도	6 % 이상	6 % 이상	6 % 이상	6 % 이상	6 % 이상	
	배가스 집진기	전기집진기	-	전기집진기	-	전기집진기	
	여과집진기	여과집진기		여과집진기		여과집진기	
	집진기 입구온도	200℃이하	250℃ ~ 280℃	200℃이하	250℃ ~ 280℃	250℃ ~ 280℃	200℃이하
	집진기출구 먼지농도	20mg/Nm3	50mg/Nm3이하	50mg/Nm3이하	좌동	50mg/Nm3이하	좌동
	온도계등	온도계는 연소실출구와 집진기입구에 설치 CO연속분석기와 O2연속분석기는 집진기출구이후에 부착					
효과	개별	배가스DXN0.5ng/Nm3 이하		배가스DXN농도는 정하지않음			
과	전체	이상 가이드라인만 철저히 수행되면 현 총배출량의 1/10으로 저감					
최종처분장		침출수처리장:침전물분리에유의. 소각잔재를 정확히 복토할 것. 집수관구배와 간선간격을 배려하고 침출수 배출 신속할 것					

각국의 GCP 예

	덴마크	캐나다	프랑스	이태리
연소온도	2차온도 950℃ 조연개시 875℃ 투입정지 825℃이하	1,000℃	750℃	950℃
체류시간	2차연소 2초	1초	2초	2초
O ₂ 농도		O ₂ 6 ~ 12%(보일러출구)	O ₂ 7%이상	O ₂ 7%이상
CO 농도 등	CO(10% O ₂ 환산) 80ppm(24hr평균) 280ppm(10분평균) 640ppm(1분평균)	CO(11% O ₂ 환산) 50ppm(4hr평균)		
혼합조건 등	2차연소실 Reynold수 60,000이상 공기余熱, 조연버너	2차공기 전공기량의 40% 이상 조연버너-全熱용량60%		

♣ 배가스처리공정.

배가스처리공정은 일반적으로 몇 개의 처리공법이 집합된 하나의 종합공정으로 볼 수 있다.

대개는 **집진장치**가 전단에 설치되고 후단에는 **가스포집장치**가 설치된다.

- ☞ Water jet scrubber.
- ☞ Electro dynamic ventury.
- ☞ Dust collector(Electro static precipitator, Bag filter).
- ☞ Spray dryer(SD)
- ☞ Selective catalytic reduction(SCR).
- ☞ Selective non catalytic reduction(SNCR)

♣ 국내 소각시설 다이옥신제거용 공해방지시설현황

TYPE	공해방지시설	개소수
Type 1	WB → ESP (1.127) → W/S (2.4) → SCR (3.3) → stack (0.35)	2
개선계획예	WB → ESP → W/S → B/F → SCR → stack (예상:0.05)	
Type 2	WB → ESP (2.8) → SCR (4) → WS (0.46) → stack (0.8)	1
개선예	WB → SD → 활성탄 → B/F → SCR → WS → stack (0.02)	
Type 3	WB → SD → B/F → stack (1.3)	2
개선예	SNCR → WB (1.1) → SD → 솔바리트 → B/F → stack (0.03)	
Type 4	WB → ESP (4.7) → WS (1.4) → Stack (1.9)	1
개선계획	WB → 활성탄 → B/F → SCR → WS → stack (예상:0.05)	

☞ 집진기중 ESP 다음에는 다이옥신이 증가(type1,2) B/F 가 바람직함.

♣ 소각시설의 성능

소각시설은 쓰레기를 연소하여 **쓰레기부피를 감량화**하는 것이 일차목표이다.
 이과정에서 **환경오염물질을 최소화**로 발생시키고 **운전유지관리비용은 최소화**되는 것이 필요하다.

소각로성능 = 쓰레기 감량화 효율 운전중 환경오염물질발생량최소 운전유지관리비의 최소
--

성능향상 Good combustion practice 등 완전연소의 확인요소

- ☞ 소각/열분해기능시험(온도 850℃이상)
- ☞ 강열감량(10% 이하)
- ☞ 체류시간(2초이상)
- ☞ 1,2차 공기 분배 및 조절 기능 등

환경오염(환경배출허용기준이하)

- ☞ CO 30ppm이하(50톤/일 이상 생활폐기물소각로)
- ☞ SOx 300ppm이하
- ☞ NOx 200ppm이하
- ☞ 먼지 80mg/Sm³이하

경제성

- ☞ 운전(자동화) 및 유지관리기술
- ☞ 소각잉여열의 재활용
- ☞ 유가 물질의 회수

성능을 일정 이상으로 하기 위하여 미국 등에서는 중소형 소각로에 대하여는 협회가 제시하는 **Minimum Requirement**를 제정 준수하고 있다.

4. 향후 소각시설이 갖추어야 할 조건

- ♣ 소각로의 성능 개선 및 유지