

국내 소각로 공정기술 현황

상지대학교 환경공학과
이 건 주



1. 폐기물의 소각처리현황

1.1 폐기물 처리의 중요성

인간은 환경의 일부분으로 자연이 주는 혜택에 의존하며 살아왔다. 자연도 인간에게 각종 자원을 주며 생활에서 발생하는 폐기물을 정화시켜 준다. 그러나 산업 혁명과 2차 세계대전 이후 인구 성장과 자원 소비량의 증가로 산업화 도시화가 진행되는 과정에서 각종 폐기물들이 배출되고 있다. 환경문제 개선을 위하여 폐기물의 완벽한 처리가 요구되고 있으며 특히 폐기물은 우리가 겪어야 할 환경문제 가운데 가장 심각한 한 부분이 될 것으로 예측된다. 이에 대한 대책으로 재생 또는 재활용하는 것이 가장 바람직 하지만 오늘날 우리 현실을 고려해 볼 때, 우선 자원화 하기 어려운 가연성 폐기물은 최대한 소각 처리하여 폐기물을 감량화한 후 위생적으로 매립 처분함이 국토의 효율적 이용 측면에서 필요하다고 판단된다.

1.2 소각로의 역사

우리가 알고 있는 개념의 소각로는 약 100년 전 영국의 노팅햄(Nottingham)시에서 도시 쓰레기를 태우기 위해 세워졌다. 미국에서도 뉴욕의 거버너섬에 첫 소각로가 들어선 이후 1921년까지 약 200기 이상이 설치되었다. 이들은 거의가 다 벳치 타입으로 성능이 불량하며 1950년대까지는 이들 소각로에서 내뿜는 연기와 냄새가 일종의 필요악으로 받아들여졌으나 그후 대기오염법의 제정으로 소각로의 성능도 향상 되어야만 했다. 주로 향상된 부분은 연속 주입 방법, 연소 제어 향상, 다단 연소실 개념 도입, 에너지 회수를 겸비한 설계와 대기오염 방지 설치 등이었다. 특정 폐기물을 소각하기 시작하기도 50년이 넘었으며 초기 단계에서는 도시 폐기물 소각로의 개념을 적용했으나 그레이트 타입(Grate-type)의 적용으로 인한 성능 저하로 차차 로타리킬른이 적용되기 시작하였다. 초창기의 로타리킬른 소각로는 주로 독일에서 많이 설치되었으며 미국에서는 1948년 미시간주미드랜드시에 있는 다우화학공장에 처음 설치되었다.

1.3 소각 처리의 중요성

각종의 중간 처리 방법 중에서 안전화, 안정화, 감량화, 재이용화의 4가지 목표를 동시에 가장 만족시키는 것이 소각이다. 그 외에는 모두 하나 또는 두 개의 목표를 충족시키는데 지나지 않는다. 그러나 최근 소각에 못지 않게 2차 공해도 적지 않게 열분해법과 용융고화법 혹은 용융증발법과 유동상법 등이 한창 연구 개발되어지고 있지만 용량적인 처리 능력이나 쓰레기의 파쇄, 분별도, 발열량의 부족 등의 문제가 남아 있어, 일부 가동 실적을 제외하고는 아직, 본격적인 실용화는 되어 있지 않다.

최근, 공해 방지가 주요한 요소로 되어 있는데 그만큼 소각로의 2차 공해 방지 설비도 점차중요시되고 있는 중이다. 이상 현 단계에 있어서 폐기물 처리의 최종 처분법에 대해서는 육상 매립, 그것을 위한 중간 처리법에 대해서는 소각이 가장 일반적인 것이며, 그만큼 소각의 중요성이 폐기물 처리의 책임을 늘리는 가장 큰 과제로 되어 있다.

2. 국내의 소각로 현황

2.1 개요

최근에 와서 폐기물의 안정적 처리와 감량화를 위해서 많이 적용되고 있는 소각 처리는 1876년에 영국, 1881년에 미국 등지에서 시작되다가 1893년에 독일의 함부르크에 대규모의 소각로를 설치한 이후로 많은 소각로가 생활 폐기물과 산업 폐기물의 처리를 위해 설치되었다.

우리 나라에 설치되어 있는 소각 시설은 1990년말 현재 총 261기로서 1일 소각 능력(8시간 기준)

은 약 4,844톤으로서 연간 소각 능력(250일 기준)은 약 121만 톤에 달하고 있다. 주요 소각 형식에 도시 쓰레기 소각에 널리 적용되는 Stoker Incinerator, 산업 폐기물이나 유해 폐기물, 슬러지 등을 소각하는데 주로 적용되는 Liquid Injection Incinerator, Rotary Kiln Incinerator, 종래 도시 쓰레기의 소각에 주로 이용되었으나 최근에 와서 산업 폐기물이나 유해 폐기물 등 처리 가능한 폐기물의 범위가 넓어진 Fluidized Bed Incinerator 등이 있다.

2.2 소각 처리 기술

도시 쓰레기 소각로는 1955년대 후반부터 쓰레기 공급, 연소, 재처리 등을 기계화한 기계화 배치로나 연속 연소식 기계로가 개발되었다. 그후 1965년대 전반부터 쓰레기 질의 변화에 의해 예를 들면 페플라스티크의 혼합을 급증 등에 의한 소각 시의 염화수소가스가 노의 과열로스틀의 소손에의 대응이 요청된 이래, 폐수 속의 중금속류 등이나 폐가스 속의 질소산화물등에 관계되는 배출 규제 강화에의 대응이 과제가 되었지만, 현재까지 소정의 조치가 강구되어 왔다.

한편 1973년 후반의 이른바 석유 쇼크를 계기로 하여 에너지 절약, 자원 절약이 강조되는 쓰레기 소각에 있어서의 열회수 시스템의 보급이나 여열이용시스템의 확충에 힘이 모아지고 있다.

1965년 당초의 쓰레기 질로서 그 저위발열량은 자연한계로 되는 850(kcal/kg)정도로 당시의 연소의 전정으로서 쓰레기를 어떻게 효율적으로 로내에서 건조시키는가 주의가 모아지고, 이로 인해 로내의 쓰레기를 로스돌상에서 교반, 반전시켜, 연소 배가스 등과 충분 접촉시키는 로스돌 구조, 예열공기의 도입 등의 개량이 행해져 왔다.

2.3 소각잔사의 처리기술

소각잔사의 처리에 대하여는 비회 등의 안정화, 감용화 등을 도모하는 목적에서 각종의 고화기술이 개발 되고 있다.

2.4 열이용기술

일본에서의 도시쓰레기소각시설에서의 열이용역사는 20년 이상이 되지만 배가스계통으로 설치된 열교환기에 의한 소내난방, 급탕정도였다. 그러나 본격적인 열이용은 연속연소식소각프랜트에 있어서 실용화되어 그 이용방법도 다기에 이르고 있다.

후생성의 쓰레기처리시설 구조지침에 있어서도 소각처리에 있어서는 여열이용에 노력하는 취지가 명시되어 있으므로 앞으로 점점열이용방법이 확산되어 갈 것으로 생각된다.

2.5 자동화제어기술

쓰레기소각로가 도입된 당초의 기기제어는 입력제어가 주체로 겨우 로내온도 감시나 로출구 드래프트감시가 되고 있는데 불과했지만 1955년대 후반의 고도경제성장기에 범용화되어온 산업연소로나 화학프랜트에 대한 ABC(Automatic Boiler Control)가 보급되고 있다.

다시 최근의 정보에 의하면 인공지능을 이용한 쓰레기소각로 운전지원 엑스파트시스템이 실용화의 역으로 들어간다는 보고도 있고, 보다 안전하며 2차공해가 적은 성력형운전시스템이 완성되어 가고 있다.

2.6 새로운 처리기술

새로운 처리기술이 뿌리를 내려 발전할 수 있기 위해서 현행 소각에 비교해서 기본적으로 다음과 같은 요건을 갖추어야 한다.

- ① 공해발생요인이 되는 물질이 없다.(저공해)
- ② 쓰레기를 자원으로 생각해서 재이용할 수 있다.(자원화)
- ③ 시설건설 및 유지비, 운전비가 싸다는 3가지 요건을 충족시킬 수 있는 것으로 한다.

새로운 처리기술의 구체적인 움직임을 나타낸 예로서 외국의 경우, 미국이 1970년 이후 환경보호청의 원조를 중심으로 도시쓰레기중에서 저축성에너지인 가스,기름을 회수하기 위해 열분해기술의 개발을 진행시킨 것이 눈에 띄고 있다.

2.7 연소공기 제어기술개발 동향

쓰레기를 연료로 하는 경우에는 발열량과 수분 함유량을 예측하기가 매우 어려우며 불규칙하게 변동하므로 연료유량에 의한 증기압력 제어는 불가능하다. 그러나 연소의 안정화를 이룩하기 위해서는 로내의 입열량을 일정하게 하여야하며 입열량이 일정하여야만 쓰레기 소각량과 발열량이 일정해지므로 적절한 입열량을 설정하여야 한다. 입열량, 즉 쓰레기 소각량 및 발열량을 직접 측정한다. 한편 입열량의 조절은 쓰레기 공급량, 즉 FEEDER 및 GRATE의 속도제어로 이해되고 있다. 그러나 쓰레기가 로내에 투입되면 건조 및 연소에서 요하는 RESIDENCE TIME이 필수조건이 되기 때문에 쓰레기량과 소각량의 변동을 FEEDER 및 GRATE 제어로써 대처하기는 어렵다. 이러한 쓰레기량은 연소공기를 조절하여 연소속도를 제어하고 GRATE 및 FEEDER 제어에서 RESIDENCE TIME을 갖도록 하며 그 사이에 쓰레기 공급량을 조절하여 입열량을 일정하게 맞추어가는 제어방식을 사용하고 있다.

표1. 연소공기 제어에 따른 고려사항

번호	보조제어	목적	동작	비고
1	로출구가스 온도 제어	과대 연소시로 온도상승 또는 O ₂ 함유량이 적을 경우 설비손상 방지	로출구가스 온도 상한 초과시 냉각용 공기를 증가시킨다.(또한 O ₂ 량 하한 초과시)	NO _x 억제가 필요한 경우 공기량의 제한이 필요하다
2	로내가스 온도 상한 제어	미연방지	로내가스온도 상한 초과시 쓰레기 공급량 제한 BURNOUT GRATE의 공기 공급량 증가	6항 (ITV에 의한 제어)을 사용하는 경우 연계제어
3	쓰레기 발열량 자동설정	일일처리량 유지	상기계산에 의한 발열량으로 설정치의 자동 수정	쓰레기 질의 변동 속도에 대한 제한
4	PID PARAMETER 자동 수정	쓰레기 질의 변화시 제어 PARAMETER 최적화	쓰레기 발열량의 설정치 등에 맞추어 기본 제어계의 PID PARAMETER를 자동 수정	
5	건조화격자 쓰레기 두께 제어	연소의 안정화 촉진	건조화격자 쓰레기 두께에 의한 FEEDER 속도 제한	
6	ITV에 의한 연소점 제어	미연방지	ITV에 의한 연소상태를 촬영한 VIDEO SENSOR를 이용하여 연소점의 위치 산출 및 GRATE의 속도제어	

3 국내의 소각로 공정기술 현황

3.1 소각 공정 개요

소각로는 계층장치, 반입설비, 공급설비, 소각설비, 연소가스처리설비, 재처리설비 및 토건설비로써 대별되며 이와같은 시설은 설계, 시공 업체의 기술원에 따라서 다소 차이가 있지만 소각설비의 특성을 나타낼 수 있는 연소형식에 대하여 비교하면 스토카 방식, 회전식(ROTARY COMBUSTOR), 유동상식(FLUIDIZED BED)로써 구분되고 공정, 운전, 공해처리 및 사업비에 관하여 비교하면 표2 소각로 연소형식별 공정 운전방식 비교표이며, 표 3은 소각로 형식별 기술원 및 제작업체명이다.

표2 . 소각로 연소형식별 공정 운전방식 비교표

구분	형식별 항목	스토카식	회전식	유동상식
1. 공정	1)소각로 구조 2)공급방식 3)소각공정 4)가스냉각공정	화격자구동방식 공급량의 조절을 한다 고온중에서 구동하므로 마모될 수 있다. 연소 상태에 따라서 CLINKER가 발생 냉각배수발생	회전연소방식 공급장치의 속도,주기 및 연소로의 회전속도를 변화하여 적정연소토록 한다. 연소중 교반이 좋아 큰 CLINKER가 발생하지 않는다. 부속수관, 철재 CYLINDER 구성	유동사 유동방식 파쇄쓰레기를 정량 쓰레기 발열량의 변동에 대해서 안정성이 있고, CLINKER발생이 적다. 증발형 냉각탑을 채용하므로 포집회를 건조 상태에서 반출 가능
2. 운전	1)운전조작 2)기술의 안정성 3)실적 4)전처리 5)적용규모	정지후의 온도 강하가 있고 보수후의 승온시간이 길린다. 다수가 개발대 전처리하지 않고 소각 가능 도시쓰레기, 100톤/일~1200톤/일	처리 대상의 질 및 크기변화에 대해서 안정적 운전이 가능하다. 신기술 소 전처리 하지 않고 소각 가능 도시쓰레기, 산업폐기물 50톤/일~500톤/일 90%	기동정지의 운전조작이 용이 신기술 중 전처리용 파쇄기 필요 도시쓰레기, 산업폐기물 30톤/일~200톤/일 94~96%
3. 공해 처리	1)배가스량 2)배가스처리 3)잔재처리 4)배수처리	과잉공기비 1.5~2.5 전기집진기 및 송풍기 규모가 크다. HCl제거는 습식장치를 이용 소각잔사는 철분,유리, 돌 등의 불연물 외에 다른 재도 있다. 배가스 세정배수,잔사 냉각배수의 처리	과잉공기비 1.5 전기집진기 및 송풍기 규모가 적다. 불연물이 건조상태로 배출되어 저류 수송등 취급이 쉽다. 잔사냉각 배수의 처리가 필요	과잉공기비 1.2~1.8 규모가 적다. 냉각수 PIT에서 처리한다. 배수처리가 불필요하다.
4.사업비	1)건설비 2)유지관리비	보통이다. 로내에 가동화격자가 있어 기계적인 보수가 필요	약간 높다. 연소설비내 구동메카니즘이 없으며 운전경비가 비교적 저렴하다.	높다. 소각로 본체의 기계적인 가동부가 없으나.유동사의 반송 관리가 필요하다.

표3 . 소각로 형식별 기술원 및 제작업체명

형식별	기술원	제작업체명	비고
스토카식	VON ROLL	VON ROLL HITACHI ZOSEN WHEELABRATOR FRYE	SWIZERLAND JAPAN U.S.A
	BRUNN & SORENSON	BRUNN & SORENSON ECOLAIRE INCORPORATED	DENMARK U.S.A
	VOLUND	VOLUND NKK	DENMARK JAPAN
	VKW	VKW KAWASAK HEAVY IND. BROWN & FERR'S IND.	GERMANY JAPAN U.S.A
	WIDMER & ERNST	W+E BLOUNT	SWIZERLAND U.S.A FRANCE
회전식		WESTING HOUSE I H I	U.S.A JAPAN
유동상식	I H I EBARA MITSUI ZOSEN NIPPON ZEON	I H I EBARA MITSUI ZOSEN NIPPON ZEON	JAPAN JAPAN JAPAN JAPAN

난연성 폐기물의 소각처리 단위공정별 기술평가 내용은 표4에 나타난바와 같이 소각로 에너지회수분야 대기오염장치분야 부대시설별로 설명하였다

표 4 난연성폐기물 소각로의 각 단위공정별 기술평가
(조사업체 : 10개사, 평가대상 소각로 갯수 : 17기)

	소 각 로	에너지회수	대기오염제어장치	부대시설
회전식 소각로 기술 평가	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 소성용/소규모 회전식 건조로 설계,제작 가능 ▶ 소각용회전로의 설계기술 미 확보 (제작가능) ▶ 2차연소실 설계 제작 가능 ▶ 일부보조버너 설계,제작가능 하나 다목적버너는 전량 수입 ▶ 풍량공급/조절 장치는 경험부족으로 설계 미흡 ▶ 내화재의 경우 산업용은 충분히 설계,제작 가능 하나 소각용은 사양 선정기술 부족 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 보일러의 경우 충분히 설계,제작 가능하나 일부 효율을 높이는 장치인 soot blower 장치는 수입 ▶ 공기에열기는 설계,제작 가능하나 재질선정 기술 부족 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 원심력 분리장치는 충분한 기술 확보 ▶ 습식제어장치와 ESP 설계,제작 가능 ▶ 습식ESP 장치는 설계기술 부족 (제작 가능) ▶ 건식 세정기의 경우 설계 기술 수입 ▶ 반건식 세정기 기술 미확보 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 파쇄설비는 일부의 칼날 및 제어장치 수입 (설계,제작가능) ▶ 투입장치는 전부 설계,제작 가능하나 유압 관련 부품은 수입 ▶ 자동제어기술은 제작가능하나 설계기술 확보 미흡 ▶ 오염물 모니터 링장치는 전량 수입

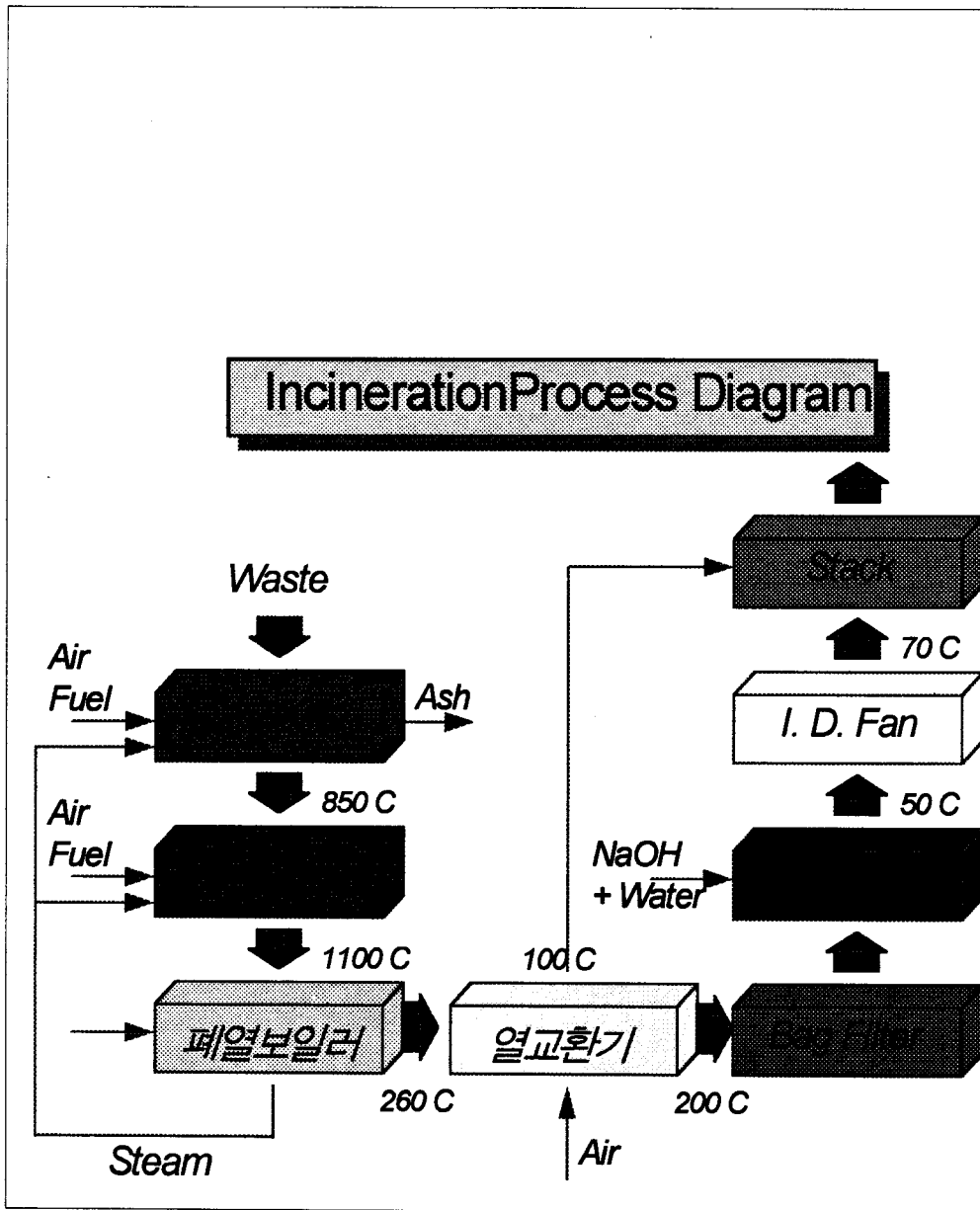


그림 1. 소각로 공정 흐름도

3.2 국내외 소각시설 개발 현황

3.2.1 국내

국내에서는 1987년 "대체 에너지 개발 촉진법"을 입법화하여 폐기물에너지분야에 대한 기초 및 응용연구가 활발히 진행되고 있으며, 표에 1988년 이후 수행된 국내 폐기물 재생에너지 분야의 주요 연구현황을 나타내었다. 국내의 경우 산업폐기물에 관한 연구가 기계연구소에서 1989년도 완료되었으나 기계적인 문제점(투입장치 등)과 연소조건 정량화의 부족으로 실용화 측면에서 다소 어려움이 있다. 또한 유동층을 이용한 산업폐기물의 응용성 연구 및 특정폐기물의 에너지 회수에 관한 연구가 진행중에 있으며, 대체에너지 개발 차원에서 많은 관심을 갖고 추진되고 있는 실정이다.

3.2.2 소각장 설치 현황

현재 국내에 가동중인 주요 도시 쓰레기 소각장은 표 5에 나타난 바와 같이 의정부, 목동, 대구 성서, 성남, 안양, 평촌의 5개소이며 목동지역에 1일 550톤 규모의 소각로가 증설중에 있고 서울 노원과 경기 일산지역에 각각 1일 800톤, 300톤 규모의 소각로가 건설중에 있다.

표 5. 주요 소각장 설치 현황

항목 소각장	소각시설 용량 및 소각방식	사업시행 주체	운영관리 주체	공사금액				공사기간	시공업체 (기술제휴 업체)	주변편의 시설
				입찰방법	설계가	낙찰금액	%			
의정부	25ton/8h × 2기 스토카방식	의정부시	의정부시 환경사업 소			1,771 백만원 69% 국고지원		83. 12~ 84. 12 (12개월)	롯데개발 주식회사 (KUBOT A 일본)	none
목 동	150ton/day × 1기 스토카방식	서 울 특별시	에너지관 리 공단 위탁			14,300 백만원		84. ~ 86. 12	대우(주) (VonRoll 스위스)	체육시설 (수영장) 건설계획
대 구 성 서	200ton/day × 1기 스토카방식	대구 직할시	환경관리 공단위탁	설계시공 일괄입찰		18,192 백만원 14,748 백만원		90. 8 ~92. 11 (27개월)	대우(주) (히타치조 센 일본)	체육시설 (수영장) 건설계획
성 남	50ton/day × 2기 유동상방식	성남시	성남시 폐기물 사업소	설계시공 일괄입찰		160억원 OECF차관 : 73.75% 시비 : 26.25%		91. 3.28. ~ 93. 11.30 (32개월)	쌍룡건설 (미쓰이조 센 일본)	none
안 양 평 촌	200ton/day × 1기 스토카방식	한국토지 개발공사	환경관리 공단위탁	설계시공 일괄입찰	215억	12,961 백만원 139,000 백만원 147억(팜 플렛자료)		91. 11 ~93. 12 (25개월)	동부건설 (주) (스타인플 러 독일)	none

표 5에 나타낸 바와 같이 소각방식은 성남소각장이 유동상방식이며 나머지는 stoker방식이다. 공사기간은 같은 용량규모를 기준으로 일본에서의 공사기간이 100~200ton/day규모의 경우 30~36개월이 소요되는 것에 비해 짧고, 또한 설계가에 대한 입찰금액이 터무니 없이 낮다는 점이다.⁷⁾ 이러한 점은 표 6에 나타낸 바와 같이 최근 입찰하여 건설중인 여러 소각장의 경우에서 뚜렷이 나타나는 현상이다. 표 6에 나타낸 바와 같이 모든경우가 설계가의 50%수준이며 가장 낮은 것은 37%의 것도 있다는 점이다. 저가낙찰이 반드시 부실공사라는 등식이 성립할 수 없을 지라도 과다경쟁으로 인해 설계가에 못미치게 낙찰된 공사비로서 정상적인 건설이 이루어진다고 보기에는 쉽게 납득이 가지 않을 것이다. 이러한 결과와 공기의 짧음은 부실 건설이 되기 쉽고 국내 소각장의 수명이 짧을 것이라는 것이 예측되는 바가 아닐까 한다. 현재 거의 조업이 이루어 지지 못하고 있는 의정부 소각장과 비교하여 이것과 거의 같은 시기에 같은 용량으로 건설된 일본의 소각장은 훌륭히 조업중인 점을 생각할 때 앞으로 국내 소각장 건설에 있어 가장 염두에 두어야 할 사항들이 아닌가 생각된다.

표 6. 소각로 건설시 설계가 對 입찰가 및 1톤당 공사금액

항 목 소각장	용량, 방식	입찰방법	설계가(A)	입찰		시설 ton당 가격(천원)
				금액(B)	B/A(%)	
안양 평촌지구	200ton/day 스토카	설계시공 일괄입찰	215억	123억	57.2	64,806
고양 일산지구	300ton/day 스토카	"	450억	174억	38.6	57,933
서울 상계지구	1600ton/day 스토카	"	1,500억	554억	36.9	34,601
서울 목동지구 (중설)	400ton/day 스토카	"	460억	259억	65.3	64,732
대구 성서지구	200ton/day 스토카	"		182억		73,741
부산 다대지구	200ton/day 스토카	"	219억	99.7억	45.5	49,870
창 원	200ton/day 스토카	"	215.3억	96.8억	45.0	48,440

* 서울 상계소각장은 입찰당시 1,600ton이었으나 현재는 800ton으로 공사중임.

표7. 국내의 폐기물 재생에너지 기술개발 현황 (대체에너지 기술개발 분야)

분야	과제명	사업기간	수행기관
소각	도시폐기물 소각로 폐역 회수장치 개발	'88-'90	동력자원 연구소
	고형산업폐기물의 유동층 연소 보일러 적용 연구	'88-'90	동력자원 연구소
	폐열 이용을 위한 소규모 산업폐기물 소각시스템 개발	'89	한국기계 연구소
	폐목재와 폐PE 필름을 이용한 연료 및 열회수 시스템 개발	'89-'91	승실대학교
	폐기물의 열분해 소각처리공정 기초 연구	'89	대우 ENG, 부설 연구소
	폐기물 열분해 반응연구	'88-'90	동력자원 연구소
	하.폐수 슬러지의 열분해 공정 연구	'89-'91	아주대학교
	도시고형폐기물 열분해 공정개발을 위한 기초연구	'88-'90	서강대학교
	고분자 폐기물 연소전류소각과 폐열회수 및 건식가스처리 기술 개발	'88-'91	한국기계 연구소
	건식가스 시스템을 이용한 폐 타이어의 에너지화 기술개발	'90-'92	한국과학기술원

3.2.3 국외

구미선진국의 경우 1973, 1979년 2차례의 석유파동 이후 대체 에너지 자원으로서 폐기물의 에너지화 기술이 상당한 기술축적이 이루어졌으며, 표 8에 주요 연구분야와 실용화 기술을 나타내었다.

표 8. 외국의 폐기물 처리 기술개발

분야	주요 연구분야 및 실용화 기술
소각	<ul style="list-style-type: none"> - 도시형 고형 폐기물의 소각 및 전력 생산 - 산업폐기물의 소각에 의한 스팀 생산 - 폐타이어를 이용한 전력 생산 - 유해폐기물을 시멘트 킬른의 보조연료로 사용(유기계 탄화수소) - 폐유 또는 폐용제를 이용한 열회수 - 폐목재를 이용한 열회수 - 슬러지를 이용한 열회수
열분해	<ul style="list-style-type: none"> - 고분자폐기물(액체연료 생산) - 폐타이어(액체연료 및 활성탄 제조) - 유기계 슬러지 및 폐유
건류	<ul style="list-style-type: none"> - 고분자 폐기물(열회수) - 폐타이어, 목재 및 고분자 혼합폐기물

일본의 일반폐기물 소각처리시설

1990년대 초부터 장래 매립장 부족에 대한 관심 위생처리를 목적으로 일반폐기물 소각처리를 시작한 일본은 각 가정 쓰레기는 각 지방도시 책임하에 「쓰레기의 감량화 및 안정화를 위하여 소각처리하고 여기서 발생하는 잔유물은 매립한다.」라는 쓰레기 처리방식이 정착하고 있다.

또한 6차례의 폐기물처리시설 정비계획을 추진하여 재정적 뿐만 아니라,법적으로도 소각처리시설의 설치를 지원하고 있으며, '90년대 가연쓰레기중 92% 처리를 목표로 하고 있다.('87소각률 72.6%)

<일본의 소각로설치 실적>

로당규모 (톤/일)	스토카로	유동상로	용융로	열분해로	비고
-50	251	43	2	-	
51-100	343	12	3	-	
101-150	274	9	3	3	
151-200	67	-	-	-	
201-250	15	-	-	-	
251-300	57	-	-	-	
301-350	-	-	-	-	
351-400	9	-	-	-	
401-450	-	-	-	-	
451-500	3	-	-	-	
합계	1,019	64	8	3	

- (주) - 상기 로수는 1984년 3월의 자료로서 휴지증인 것은 제외함.
 - 모두 연속연소식으로 수로 스토카의 고정 BATCH 식 및 기계 BATCH 식은 제외함.

도시쓰레기 처리장치

- 도시쓰레기 처리장치의 생산시적은 쓰레기 처리장치 생산액의 약 84%로 대부분을 차지하고 있다. 도시 쓰레기 처리장치는 '90년도부터 급속히 생산이 늘어 '91년은 전년대비 약 23% 증가를 나타내고 있음.
- 도시쓰레기의 처리방법은 73%가 소각이며 23%가 직접매립이며 0.1%가 퇴비화, 기타가 4.1%를 차지함.

산업폐기물 처리과정

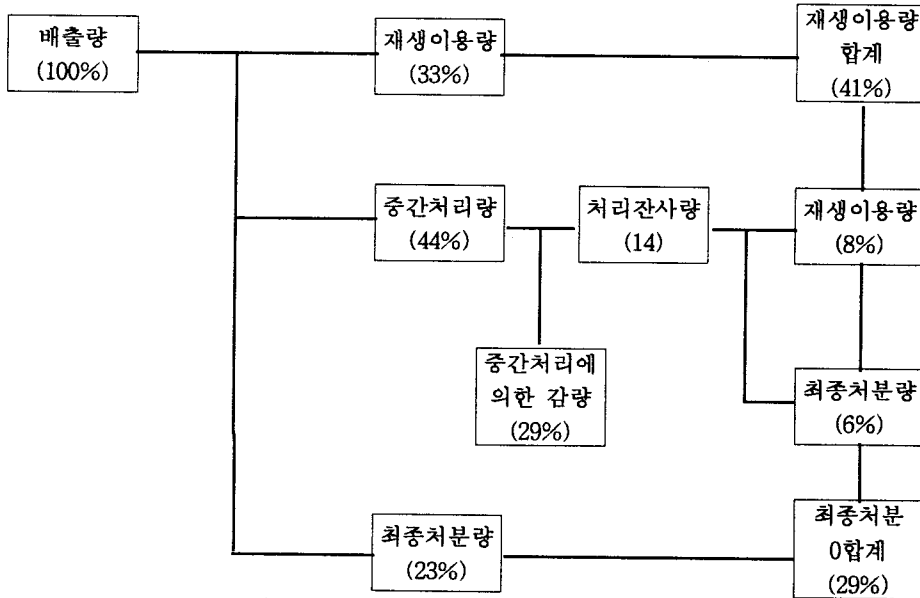


그림 2. 일본의 산업폐기물 처리과정

- 일본의 폐기물 처리 특징은 그림에서 보는바와 같이 중간처리시설이 많고 재생이용율이 상대적으로 높다는 것을 들 수 있음.
- 도자기류, 건설제재등의 최종처분이 전체의 23%에 해당하는 7,200만톤에 이르고, 폐지, 유리, 금속, 광재, 페프라스티크류에 의한 재생이용률은 33% 에 이르러 1억 400만톤이 재생에 사용되고 있음.
- 또한 44%가 유수분리, 중화 탈수, 건조, 소각처리등의 중간처리에 의하여 처리되었음.

4. 소각로의 종류

소각시설은 소각방식, 연소공기 공급방식, 소각로 형식에 따라 여러 종류로 나눌 수 있으며, 소각 방식에 따라 회분식과 연속연소식으로 분류할 수 있고, 연소 공기 공급방식은 연소 가스의 유동

방향에 따라 향류 방식, 병류 방식, 중간식 방식, 상향류 방식, 하향류 방식, 중간류 방식으로 분류한다. 또한 소각로 형식에 따른 분류는 화격자 연소 방식, 상연소 방식, 유동층 방식, 분무연소 방식, 건류가스화 방식 등이 있다.

4.1 스토카식 소각로

스토카식 소각로의 구조는 간단하며 소각로내에서 폐기물의 이송이 용이하고 혼합소각이 가능하기 때문에 대규모 소각시 최소한의 전처리로 폐기물의 소각이 가능하다. 스토카 소각로의 화격자는 주로 계단식 구동 방식, 원형회전식, 상하운동식으로 나눌 수 있다.

계단식 화격자는 상단부로부터 하단부로 연소되고 있는 폐기물이 화격자가 이동함에 따라 계속 아래로 떨어지게 함으로써 교반 효과가 커져서 연소효율을 높여준다. 그러나 폐기물이 떨어지는 과정에서 분진 발생이 커져 배출가스 중 분진의 농도가 증가하는 단점이 있다. 연소공기는 주로 화격자 아래부분에서 공급하기 때문에 연소를 촉진시키고, 화격자의 과열을 방지할 수 있으나 분진 등의 발생이 증가할 가능성이 높다. 계단식화격자에서 구동 화격자의 방식에 따라 첫째, 계단식 전진화격자, 둘째, 전진화격자, 셋째, 이동식 화격자, 넷째, 후진화격자 등의 여러 형태가 있다. 계단식 전진화격자는 왕복운동식 화격자로 고정화격자 사이에 왕복운동을 하는 화격자를 교대로 배치하여 왕복운동을 하므로써 폐기물의 이동, 혼합, 건조 및 연소가 이루어진다. 또한 전진화격자는 왕복하는 화격자 세 개를 직렬로 설치하여 첫 번째 화격자는 건조용, 두 번째는 주연소용, 세 번째는 후연소용으로 폐기물을 이동시키면서 소각하는 형태이다. 또 다른 형태는 이동식 화격자로 화격자가 금속벨트형태의 컨베이어로 되어 있고, 둘 혹은 세 개의 컨베이어 벨트를 계단식으로 연속시켜 소각로 안에서 폐기물의 건조와 연소가 각기 별도의 위치에서 일어나도록 되어 있다. 또한 후진화격자 방식이라는 것이 있으며, 이 시스템은 화격자가 윗부분으로 움직이면서 소각물 외부의 미연소된 폐기물을 교반하게 하여 하단부로 굴러 내려 가도록 설계한 특이한 구동 방법이다. 착화하기 힘들고 수분함량이 많아 발열량이 낮은 폐기물의소각에는 적절한 방식으로 판단된다. 그러나 고발열량의 폐기물의 경우에는 빠른 분해 속도에 의해 미연분이 생성될 가능성이 크고, 그로 인해 2차 오염물질의 생성량이 상대적으로 많아진다. 따라서 연소가스를 재순환시켜 2차 연소용 공기로 재주입시켜 2차 오염물질의 발생을 줄이는 것도 연구 되고 있다.

또한 원통형 화격자 소각로는 일반적으로 6개의 원통형 화격자가 20-30°의 경사로 위치해 있으며 서서히 각각 회전하면서 소각시키는 방법으로 각 소각로의 크기는 적용 폐기물량에 따라 결정되며, 화격자는 원통직경 1.5m와 길이 약 5m인 경우 1,000여개의 막대형 부품으로 조립되어 있다. 폐기물은 약0.75-0.8m의 두께로 골고루 파쇄하여 주입시켜야 하며, 이때 사용되는 장비는 피더로써 유입을 이용하는 것이 보통이다. 이 원통형 화격자가 천천히 회전하면서 파쇄된 폐기물을 교반하면서 이동시키며, 공기는 화격자와 화격자 사이로 공급하고 화격자의 회전속도와 폐기물의 양에 따라 공기의 공급량을 조절하도록 되어 있다.

상하운동식 화격자는 화격자 자체가 상하운동을 하도록 설계되어 있으며 폐기물의 혼합과 이송이 잘 이루어지도록 연속 공급이 가능하도록 하였다. 여기서 상하운동식 화격자는 반회전식으로 화격자 사이로 공기를 공급하여 폐기물의 교반과 이동이 이루어진다.

스토카 연소방식

· 왕복운동회격자(火格子)시스템
 OPPOSED MOTION GRATE SYSTEM

- 1. 스택기 반입실
- 2. 스택기 방커
- 3. 스택기 크레인
- 4. 스택기 투입 호퍼
- 5. 스택기 균질장치
- 6. 왕복운동 화격자
- 7. 압입 운송기
- 8. 스택기 추출
- 9. 스택기 방커
- 10. 스택기 크레인
- 11. 폐열 보일러
- 12. 유해가스 제거장치
- 13. 전기 집진기
- 14. 유인송풍기
- 15. 연 불
- 16. 용기터널 발전기

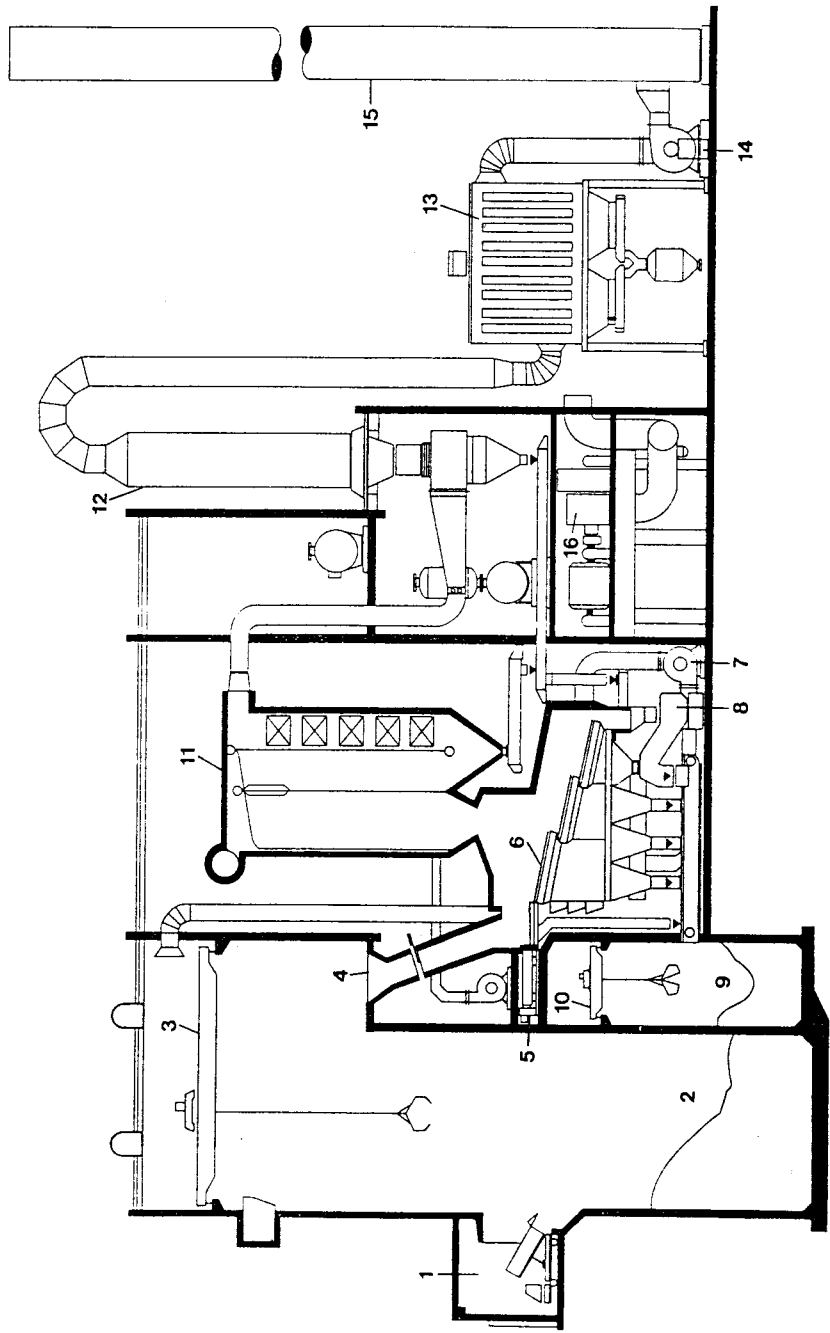


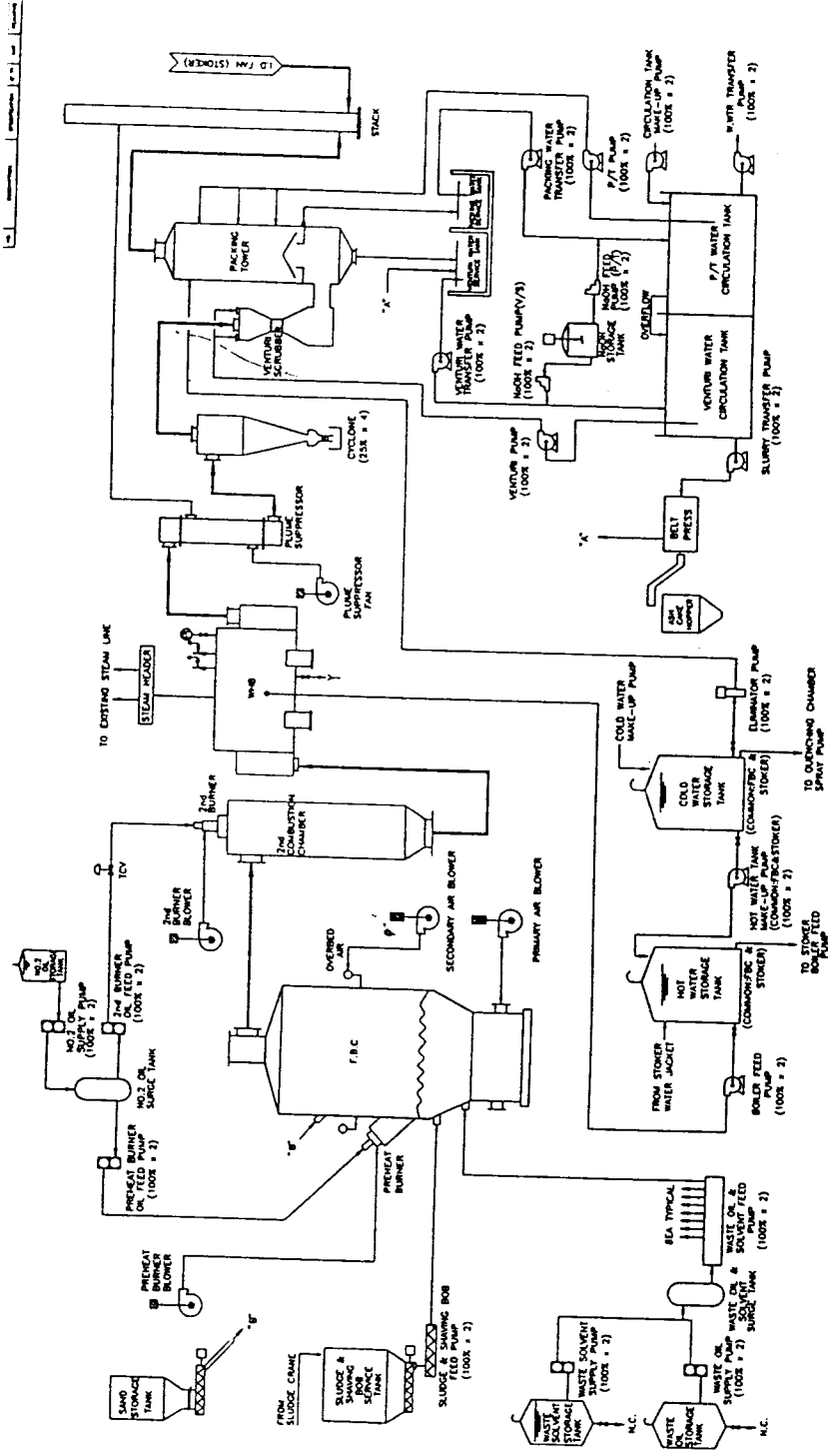
그림 3. 스토카식 소각로

4.2. 유동상식 소각로

소각로 밑에서 1,200-3,500mmH₂O 정압을 가진 200-500℃의 열풍 또는 상온 공기를 공기분산판을 통해 소각로내로 주입시켜 분산판 위의 유동매체가 부상하여 유동상층을 형성하게 한다. 이 유동매체의 온도를 700-850℃로 유지하면서, 구경 5cm정도 이하로 분쇄된 가연성분 쓰레기를 연속적으로 균일하게 투입해 유동연소를 시키는 방식이다. 유동상 소각로에 사용되는 유동매체의 열용량은 아주 크므로 소각물이 항상 유동 상태로 있기 때문에 교반, 매체와의 접촉빈도가 아주 높고 열전달 계수가 커서 건조속도 및 효율이 다른 형식에 비해 가장 높다. 화학 반응계수, 확산도달계수가 아주 커서 연소 속도가 가장 빠르다. 유동 매체의 높은 열용량으로 액상폐기물이나 함수율이 높은 물질, 고형물 등의 혼합연소가 가능하고, 폐기물의 성질이 변하여도 적응도가 뛰어나고, 자동운전이 가능하다. 또한 유동층 물질과 투입된 폐기물이 완전 혼합되어 고른 분포를 보여서 연소용 공기와 이상적 접촉을 하기 때문에 연소효율이 높고 미연소성분이 아주 적어서 소각재의 양이 적다.

공탑부(Freeboard)의 평균온도는 760-850℃인 경우가 많고, 유동매체는 모래 또는 석회석으로 입경이 0.1-0.5mm정도인 것이 가장 많이 사용된다. 화상부하율은 400-600kg/m²·hr으로 다른 형식의 10배 이상으로 소각 효율이 뛰어나 소각로의 크기가 상대적으로 작아도 된다. 소각시간이 짧고 과잉공기량이 적어 배출가스처리 장치의 규모가 작아질 수 있고 보조 연료비가 저감될 수 있다. 기계적 구동부분이 없어 정비가 용이하며 소각로내 온도의 자동 제어가 용이하다. 또한 열회수가 용이하며 배출가스온도가 탈취한계이상이면 자동으로 제어할 수 있기 때문에 별도의 탈취로를 설치할 필요가 없다. 연소 과정에서 생성되는 산성가스류인 SO_x, NO_x, HCl 등은 유동매체로 소석회, 생석회, Dolomit 등을 사용하게 되면 중화작용에 의해 탈황, 탈진, 탈염의 효과를 거둘 수 있다.

그러나 유동층로에서는 유동매체와의 마찰로 인하여 배출가스 중에 분진의 함유량이 많아 이에 대한 철저한 대책이 필요하다. 또한 폐기물의 파쇄 등의 전처리 과정이 요구되고 유동매체의 마모 손실에 따른 보충이 필요하다.



Process Diagram of Fluidized Bed Incinerator

그림 4 유동상식 소각로

4.3. 로타리 킬른식 소각로

오래전부터 광물류의 건조, 소성에 많이 사용되고 있는 Rotary Kiln 방식의 구조는 그림1 와 같다. 내면에 내화물을 부착한 원통형 노체를 0.5 ~ 8%의 구배로 설치하고 하부에 롤러를 설치해 구동장치에 따라 천천히 회전 시키면서 소각시키는 방식이다. 상부의 투입구에서 공급되는 폐기물을 반전교반을 반복하면서 킬른 하위단 또는 상위단에 설치된 고정버너의 연소기체와 향류 또는 병류접촉으로 건조후 착화하고 점차 아래쪽으로 보내면서 연소가 완결된 재조사를 배출하는 구조이다. 건조효과가 좋아 착화연소하기 쉬워 수분함량이 많은 폐기물 소각에 적합하고 2차 연소실에 의한 불연분을 재연소 하므로써 특정 폐기물 소각에도 적합하다.

현재 국내에서 회전식 연소로의 경우에는 산업용으로 활용되고 있는 cement kiln이나 건조로는 자체 설계.제작이 가능하나, 폐기물 소각로의 경우에는 선진국에서 설계된 도면을 도입하여 제작에 활용하고 있는 실정에 있다. 또한 기존에 설치된 소각로의 경우 대부분 운전 미숙으로 가동되고 있지 않거나 운전하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 설계.운전기술의 확보가 무엇보다 시급한 것으로 판단된다.

일반적으로 회전식 소각로의 설계 및 운전인자는 폐기물 소각량, kg/hr, 폐기물의 원소조성, 폐기물의 공업분석 조성, 체류시간, 열발생율, Kcal/m³-hr, 연소공기 온도, 열손실, 과잉공기량, 연소실온도, 로타리 킬른의 L/D(길이/직경), 2차연소실의 L/D, 회전속도, 회전로의 기울기, flow의 형태, nonslagging 또는 slagging mode 운전, 내화재의 유무, 압력, kiln내의 가스 유속 등이며, 각 인자는 회전식 소각로의 적절한 정량범위가 존재하므로 이의 규명이 반드시 필요하다. 또한 이들 인자는 실편랜트의 설계와 운전에 효율적으로 적용시킬 수 있도록 모델화가 필요하며, 각 인자간의 관계를 소각효율과 대기오염물질이 최소로 배출될 수 있는 조건과 결합시키면 회전식소각로의 자동화 mechanism의 구성이 달성될 수 있다. 예를 들면 회분의 열작감량을 최소화시키기 위해 회전식 소각로의 L/D비와 구배가 일정할 경우 회전수에 따른 체류시간을 조절하는 관계식을 설정하여 이용할 수 있다.

4.3.1 로타리 킬른식 소각로의 소각특성

회전식 소각로의 경우 폐기물과 연소가스의 흐름에 따라 종류가 향류식(counter current)와 병류식(co-current) 형식으로 분류되나 난연성 폐기물 등 고열량 폐기물은 병류식 형태를 이용하게 된다. 이러한 병류형태의 회전식 소각로에서 발생하는 연소현상은 그림 2에 나타난 바와 같다. 폐기물이 소각되는 과정은 앞에서 언급한 기본적인 소각과정인 건조, 열분해/가스화, 기체상 연소 및 미연 탄소분의 연소과정이 일어난다. 또한 회전식 소각로 내에서 완전연소되지 않은 기체상 물질은 2차 연소실 또는 후연소실에서 재연소 되어 배출되게 된다. 회전식 소각로 내부에서 일어나는 열 및 물질전달 현상은 다음과 같이 요약할 수 있다.

4.3.2 열전달 현상

- 배가스로부터 폐기물로의 대류 및 복사열전달
- 배기가스로부터 표벽으로의 대류 및 복사평열전달
- 회전하는 내화벽에서 폐기물로의 열전달
- 회전하는 내화벽에서 폐기물의 복사열전달
- 폐기물 내에서 열전도에 의한 열전달
- 폐기물 및 배기가스의 축방향으로의 전도/대류 복사에 의한 열전달
- 소각로 벽에서의 열 손실

4.3.3 열의 생성 및 흡수현상

- 폐기물의 건조 및 열분해를 위한 열 흡수
- 열분해 가스의 연소열 생성
- 고체물질의 표면연소열 생성
- 휘발분의 연소열 생성

4.3.4 물질전달 현상

- 연소공기중 산소의 bulk 상태 폐기물로의 전달현상
- 열분해/가스화 생성물의 자체상 bulk 상태로의 전달 현상

이외에도 회전에 의한 폐기물과 연소공기의 혼합 촉진 현상과 소각이 진행중인 폐기물의 파괴현상(조개짐 현상)이 일어나게 된다.

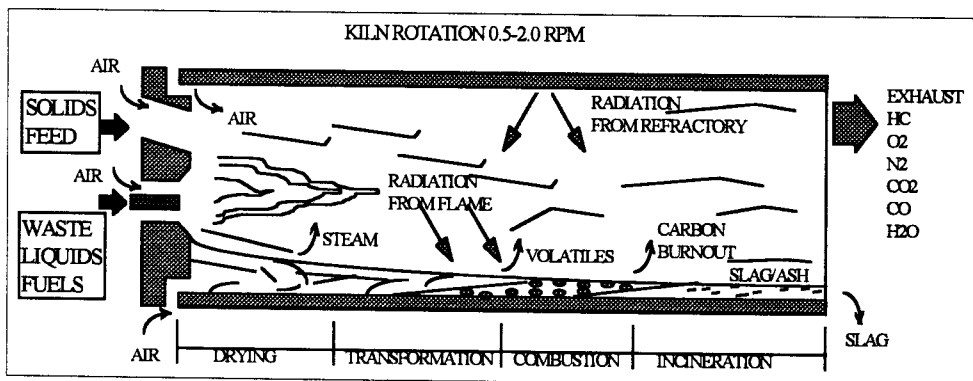


그림 6 로타리 킬른 소각공정

4.3.5 로타리 킬른 연소설비

- 설비는 FIRING SHIELD, KILN SHELL, DISCHARGE HOOD, TIRE-GEAR, 구동장치 및 제어 설비(회전수 제어) 로 구성된다.
- 국내에서는 대용량의 시멘트등 소성용 KILN 소용량의 건조로 등의 제작기술 축적으로 제작 기술은 수준급이나, 폐기물 성상 및 처리 용량 변동에 따른 설계기술은 아직 확립되지 못한 상태에서, 기존 제작도면 보유기종의 COPY PLANT 를 제작하거나, 기본설계는 외국에 의존하는 상태임.
- 투입열량에 따라서 크기가 결정되고, 경험에 입각한 L/D 비, 회전수 등을 결정함.

4.3.6 SECONDARY COMBUSTION CHAMBER (2차 연소실)

- 설비는 SHELL, FLANGE 등으로구성된다.
- 국내에서 설계 및 제작 가능하나, 폐액을 소각시킬 경우는 BURNER 선정, 내화 재질 선정에 대한 설계기술은 부족한 상태임.
- 배기가스량, 예상 체류시간으로서, 크기를 결정하고 일반 노에 대한 경험에 입각하여, 설계 및 제작 가능함.

4.3.7 버너

- 설비는 버너 본체 (보조열원, 점화), 연소공기 및 보조연료 공급 및 조절설비, 제어설비 (공연비 비례제어 및 실화경보)와 기타 전처리 보조 설비) (HEATER MODULE, FILTER)
- 국내에서 보일러 공업 발전에 힘입어 보조열원 공급만을 위한 BURNER는 제작, 설치되나, 폐유/경유 폐석탄/경유 등의 MULTI PURPOSE 방식은 버너는 전량 수입에 의존하고 있는 실정임.
- 보조연료 종류, 열공급용량, 제어방식, 노의 크기 및 운전방식에 대한 자료만 제공하면, 국내 업체에서 사양 결정이 가능함.

4.3.8 소각방식 및 설계.운전인자의 종류

일반적으로 소각시 일어나는 전반적인 물리화학적인 변화(건조/가열과정, 열분해/가스화 과정, 휘발분의 2차연소/미연분연소 등)가 나타내면, 이러한 소각과정에서 가장 중요한 변화 과정이 폐기물의 열분해시 생성되는 응축성 가스의 연소이다. 즉 응축성가스는 앞에서 설명한 바와 같이 다양한 유기화합물(지방족 탄화수소, 방향족 탄화수소 등)을 포함하고 있으므로 차후 연소시 고온에서 충분한 산소의 공급과 혼합강도를 부여하여 완전연소가 일어날 수 있도록 하여야 소각로에서 유기독성오염물의 배출을 최대한 억제할 수 있다.

폐합성수지류, 폐고무, 폐피혁 등의 난연성 폐기물을 다량으로 직접소각시킬 경우 높은 발열량과 산소공급 어려움 등으로 불완전연소에 의한 오염물질의 배출량이 상당히 크게 된다. 따라서 1차 연소로에서 열분해 및 가스화 과정을 중심으로 화학적인 변화를 유도하여 고형 폐기물을 연소가 잘 되는 기체상 연료로 전환시켜 2차연소로에서 완전연소를 유도하는 것이 연소효율을 높이고, 대기오염물질의 배출 감소효과를 달성할 수 있다. 회전식 소각로의 설계 및 운전인자는 표1 에 나타낸 바와 같다

수분함량이 많은 슬러지 생활 폐기물 소각의 경우 향류식 (Counter Current Type) RK 소각로를 이용하고 있으며 폐유, 폐합성수지류 및 고열량의 폐기물을 소각시킬 경우에는 병류방식 (Cocurrent) 의 RK 소각로를 이용하고 있다. 따라서 RK 소각방식 선정에 있어 수분함량이 많은 저발열량의 소각방식에는 향류식을 이용하고, 가연분이 많고 고발열량인 폐기물은 병류방식을 사용하고 있어 적절한 소각방식이 적용되고 있음을 알 수 있다. 또한 소각효율을 높이기 위해 2단 연소방식을 채택하고 있다. 열회수장치는 수관식 또는 연관식보일러를 채용하고 있어 시스템 설계회사에서 보유하고 있는 설계방식에 따라 적절한 방식을 선정하고 있는 것으로 평가되며 대기 오염 제어장치의 경우 시스템구성은 일반적으로 분진제거장치, 산성가스제거장치, 유기성가스 및 미세분진 제거장치로 구성되고 있으나, 본 조사 결과에 의하면 대기오염제어장치의 구성은 미흡

한 상태임을 알 수 있다. 또한 회분처리장치의 경우 단순한 Conveyor 배출장치를 선정하고 있으나, 일부에서는 Ash Hopper 에서 수동으로 배출하는 것도 볼 수 있다.

표 9 로타리킬른 소각로 운전 및 설계변수

영향인자	설계 및 운전범위	비고
폐기물 소각량, kg/hr		시스템의 규모 결정
폐기물의 원소조성		배기가스량 계산, 배기가스 조성 예측 등
폐기물의 공업분석 조성		회분 발생량
체류시간	①기체: 1-2초 ②고체: 수시간	소각로의 크기
열발생율, kcal/m ³ -hr	①RK= 10 - 40 x 10 ⁴ ②Afterburner= 20 - 80 x 10 ⁴ * 수냉식 RK: 6,000 Btu/hr-ft ³	소각로의 크기, 재질의 열적 파괴, 회분의 fouling아니 slagging고려
연소공기 온도	①상온 ②가열공급(200-320℃)	소각로내의 온도유지와 연소속진 등
열손실	①RK = 약 5% ②Afterburner = 약 5%	소각로의 온도, 열회수량 등
과잉공기량	25-125% 과잉공기 주입 ; 1차 연소실- 이론공기의 60-100%주입 ; 2차 연소실- 과잉공기	완전연소를 확보하기 위한 공기공급
연소실온도	1차 연소실: 600-800℃ 2차 연소실: 1,000-1,200℃	불완전연소발생을 억제하기 위한 최소온도
RK의 L/D(길이/직경)	2-10	소각로의 Sizing
Afterburner의 L/D	2-5	afterburner의 Sizing
회전속도(rpm)	3/4-4.0	폐기물의 혼합과 체류시간
회전로의 기울기	3° (또는 3cm.m 이하)	폐기물의 체류시간
flow의 형태		
① counter-current; 수분이 많이 포함된 폐기물과 발열량이 낮은 것 (도시폐기물, 슬러지, 오염된 토양 등)		
② co-current; 휘발성이 큰 물질(산업폐기물중 석유화학계 폐기물)		
nonslagging 또는 slaaing mode		회분의 용융점 고려
내화재의 유무	① 내화재 이용 ② 강판 이용	일반적으로 석유화학계 폐기물은 co-current, nonslagging과 내화재 이용
RK내부에 Baffle 설치		소각시 폐기물의 혼합강도 향상
Sealing 방법		배기가스의 누출방지 효과
압력	-10 ~ -20mmHg	
Kiln내의 가스 유속	5-15ft/sec (2차연소실; 3-6m/sec)	
Kiln에의 폐기물 부하량	Kiln 단면적의 3-12% 정도	

로타리 킬른식 소각로는 내화물을 부착한 원통형 로체를 0.5-8%의 기울기로 설치하고 로울러를 하부에 설치해서 구동장치에 따라 천천히 회전시키면서 위로 투입된 쓰레기를 지속적으로 반전교반하며 킬른 하위단 또는 상위단에 설치된 고정버너의 연소가스와 접촉을 하면서 건조후 착화하고, 점차 하위로 보내지면서 연소가 완결된 재잔사를 배출하는 소각로이다. 수분이 많은 폐기물이나 용융하는 액상 폐기물의 소각에 우수한 기능을 갖고 있다.

소각로의 회전속도에 따라 폐기물의 소각속도가 조절되며, 연소된 재는 소각로 끝에서 컨베이어로 제거된다. 연소가스는 폐열보일러를 통과시킴으로써 가스 중의 열이 회수된다. 연소가스의 공급 방향에 따라 향류식과 병류식으로 나누어지고, 향류식은 수분이 많고 난연성 소각물에 적합하고, 병류식은 가연성이며 용융연소하는 물질의 연소에 적합하다. 이 소각로는 교반효과가 아주 우수하기 때문에 건조 효과가 좋고, 착화, 연소시키기 용이한 장점이 있다. 점착성 폐기물이나 섬유상 물질 등은 회전을 반복하는 동안 조립화⁴⁰현상이 일어나 표면만 고온에서 급속히 회화하면서 클링커를 형성하여 내부가 완전히 연소되지 않는 단점이 있다. 또한 고품폐기물일 경우에는 내부 건조가 늦어져서 완전연소가 어렵기 때문에 소각로의 하단부에 2차 연소식을 설치하여 미연성분을 연소하여 완전연소가 이루어지도록 한다.

4.4 건류 가스화식 소각로

폐기물을 열분해하여 연료를 회수하는 공정에서 파생된 기술로 볼 수 있는데 폐기물의 건류가스화 공정을 간략하게 설명하면, 폐기물이 열을 받으면 온도가 상승하면서 건조하게 되고 건조된 폐기물이 더욱 열을 받게 되면 열분해가 일어나 휘발분이 가스화되면서 char가 남게 된다. 폐기물이 보다 높은 온도로 되면 가스화반응이 진행되고 마지막으로char는 산소와 반응하여 연소하게 되고 회분만 남게 된다. 연소시 발생하는 열은 상부의 폐기물 건조, 열분해 및 가스화공정에 제공되어 동일한 반응이 계속 이루어지게 된다. 폐기물이 건류가스화되는 각 과정에 대한 명확한 구분이 어렵고 또한 폐기물의 종류에 따라 각각의 반응온도가 다르기는 하나 대략 200℃이하에서 건조과정, 700℃이하에서 열분해과정, 1,000℃이하에서 가스화과정, 1,000℃이상에서 연소과정이 일어나게 된다.

페타이어나 고분자 폐기물을 무산소상태에서 열분해하여 얻게되는 oil이나 char는 높은 열량을 가진 좋은 연료이지만 건류가스화에 의해 얻은 연료 가스는 공기, 건조가스 및 연소가스가 혼합된 상태이기 때문에 보통 3,000cal/Nm³ 정도 또는 그 이하의 낮은 열량을 가진다. 최근 가연성폐기물로부터 에너지를 회수, 이용하는 기술의 하나로 주목받아 페타이어나 폐합성수지류와 같은 고분자계폐기물의 처리에 많이 이용되고 있으며, 열분해방법의 경우, 가열장치를 비롯 가스냉각, 포집 oil저장 장치 등 많은 부대설비를 필요로 하지만 건류가스화방법은 생성가스를 그대로 연소시킬수 있어 중소규모처리에 적합하다.

4.5 소각로의 비교 평가

위에서의 소개한 세 소각로 형식을 비교 평가하면 <표10>에서 보는바와 같다.

<표 10> 소각로 형식의 비교 평가

항목	스토카식 소각로	유동상식 소각로	로타리킬른 소각로
구조적 특징	로내에 화격자를 설치해서 그 위에 폐기물을 투입하여 소각하는 방식으로 비교적 발열량이 낮은 생활폐기물의 경우에는 연소용 공기를 화격자 하부로부터 공급하는 상향연소 방식을 택함	로내에 유동매체(모래 또는 석회석 등)가 적절 한 높이까지 채워져 있고 연소용 공기는 유동매체의 하부에 있는 공기분산판을 통해 주입하는 방식으로 유동매체는 하부로부터 유입되는 가스에 의하여 격렬한 운동을 하여 혼합을 증진시키고 열전도도 용이하게 됨	원통형의 소각로로 0.5-8%의 구배로 기울어져 있으며 폐기물의 혼합을 높이기 위해 소각로가 지속적으로 회전하며 회전속도는 0.5-5RPM임. 위에서 투입된 폐기물이 소각로를 따라 연소되면서 출구에서는 재만 남게되는 방식임.
소각대상 폐기물	혼합쓰레기 (가연성분+불연성분)	가연성분쓰레기	혼합쓰레기 (가연성분+불연성분)
전처리 과정	불필요	가연성분만을 소각해야 하기 때문에 가연성분의 철저한 분리와 파쇄 등의 전처리가 필요함	불필요
소각처리규모	대용량이 가능하며 기당 일처리규모 1,000톤 이상이 설치된 예도 있음	기당 일처리 규모 200톤 이상은 기술적인 문제로 현재는 불가능함	대용량이 가능함
과잉공기비	1.5 - 2.5	1.15 - 1.3	2 - 3
소각효율	화격자의 설계여부에 따라 소각 효율이 좌우되며 일반적으로 소각 효율이 뒤떨어지며 수분함량이 많은 쓰레기의 경우는 보조연료 등의 사용이 불가피함	쓰레기가 연소 공기와 격렬하게 혼합되기 때문에 열전도도 효과가 크고 소각상태를 균일하게 유지할 수 있어 소각효율이 아주 우수한 것으로 평가됨	쓰레기와 연소용 공기의 접촉 효과가 떨어져 완전 연소를 위해 일반적으로 2차 연소실이 구비되어 있음. 일반적으로 소각효율이 좋지 못한 것으로 평가됨
보조연료량	보통	적다	크다
에너지 이용율	높음	낮음	낮음
유지관리비	소각로내의 기계적인 구동부분이 많아 고장 가능성이 높음	구조가 단순하고 기계적 구동 부분이 적어 유지 관리가 용이함	구조가 단순하고 기계적 구동 부분이 적어 유지 관리가 용이함
건설비용	1.5	1.0	1.4
운영비용	1.5	1.0	1.3
생활폐기물 소각목적으로 국내 설치사례	많음	성남소각장 1곳	없음

5 소각로의 선정 기준 및 평가

지방자치단체에서 폐기물관리정책이 수립되고, 소각처리모형을 결정하게 되면 그에 따라 적절한 소각로 형식을 결정해야 한다. 소각로를 선정하는 기준은 환경성, 기술성, 경제성으로 평가해야 하고 기준별 평가 항목은 아래 표11에서 보는 바와 같다.

<표 11> 소각로 선정 기준 및 항목

환경성	경제성	기술성
<ul style="list-style-type: none"> . 대기오염물질의 배출량 및 특성 . 강열감량 . 소각로의 외형 크기 	<ul style="list-style-type: none"> . 건설비용 . 운영비용 . 에너지 회수 	<ul style="list-style-type: none"> . 연소효율/열효율 . 단위 폐기물당 소각시간 . 내구성 . 부대시설의 필요 . 보조연료 사용

현대 도시 생활폐기물의 소각에 가장 많이 사용되고 있는 스토카식 소각로, 유동상식 소각로, 로타리킬른식 소각로에 적용하여 비교 평가한 것은 아래 표12에서 보는바와 같다.

<표 12> 소각로의 평가

평가기준		스토카식 소각로	유동상식 소각로	로타리킬른 소각로
환경성	대기오염물질	O	O	O
	강열감량	△	O	△
	소각로 크기	x	O	x
경제성	설치비용	x	O	x
	운영비용	x	O	△
	에너지 회수	O	△	△
기술성	연소효율	△	O	△
	단위소각시간	△	O	△
	내구성	O	O	O
	부대시설	O	x	O
	보조연료	△	O	x
평가점수		13/33	30/33	11/33

○ : 우수(점수: 2), △: 보통(점수: 1), X: 불량(점수: 0)

평가항목에 대한 구체적인 설명은 아래와 같다.

