

도시 쓰레기 소각로

김 영 도

Municipal Waste Incinerator

Young-Do Kim



- 김영도(대우조선공업(주) 플랜트해 양부분 상설설계부)
- 1949년생
- 기계공학을 전공하였으며, 도시 폐기물 소각설비의 기본설계에 관심을 갖고 있다.

1. 머리말

인구집중과 생활 수준이 향상됨에 따라 도시 쓰레기의 발생량이 급증하고 있으며, 그 성상 또한 다양해지고 있다. 지금까지는 이러한 도시 쓰레기를 주로 매립을 통해 처리하여 왔으나, 매립지가 포화상태에 이르고 있으며 2차 오염문제와 생활 환경문제로 매립지 주변의 주민들과 심각한 마찰을 빚어오고 있다. 또한 매립에 의한 처리는 쓰레기 수송에 따른 도시의 교통기능에 장애 요인이 될 수 있으며, 처리비용 또한 점차 증가하고 있는 추세이다.

이에 대한 대책으로는 쓰레기 발생량 자체를 주이고 재활용을 극대화하는 것이 가장 이상적인 방법이지만, 그 한계성을 고려해 볼 때 소각에 의한 처리방법이 현 시점에서는 가장 효율적인 대체 방법이라고 판단된다. 쓰레기를 좀더 효율적으로 감량화하고 환경오염도 없앨 수 있는 소각기술의 개발이 시급한 과제라 할 수 있다.

참고로 각국에서의 소각에 의한 생활 쓰레

기 처리 비율을 비교해 보면(그림 1), 우리나라에서의 소각 처리율은 1.6%에 불과한 실정으로 그 비율에 있어 선진국들과 극심한 차이를 보이고 있다. 정부에서도 폐기물의 안전처리 및 감량화란 관점에서 쓰레기 처리방법을 매립에서 소각으로 전환해야 하는 시점에 와 있음을 인식하고 소각 비율을 높이기 위한 중장기 투자계획을 수립해 놓고 있다. 그림 2에 제시된 바와 같이 2001년까지 생활 쓰레기의 25%를(용량으로는 23,000톤/일 수준) 소각 처리하는 것을 목표로 하고 있으며, 이를 위해서는 약 65~70기의 소각 시설이 추가로 건설되어야 하고 대략 2조 5000억원의 예산이 소요될 것으로 예상되고 있다.

이와 같이 소각설비의 대규모 수요에 반해 국내의 소각로 설계 및 제작 기술은 낮은 수준에 머물러 있기 때문에 상당 부분의 예산이 선진기술 및 부품을 수입하는데 사용되어야 할 실정이다. 그러므로 국내 생활 쓰레기의 특성에 적합한 소각시설의 설계능력 자립과 설비 제작기술의 국산화가 최우선적으로 수행되어야 할 과제로 떠오르고 있다. 또한

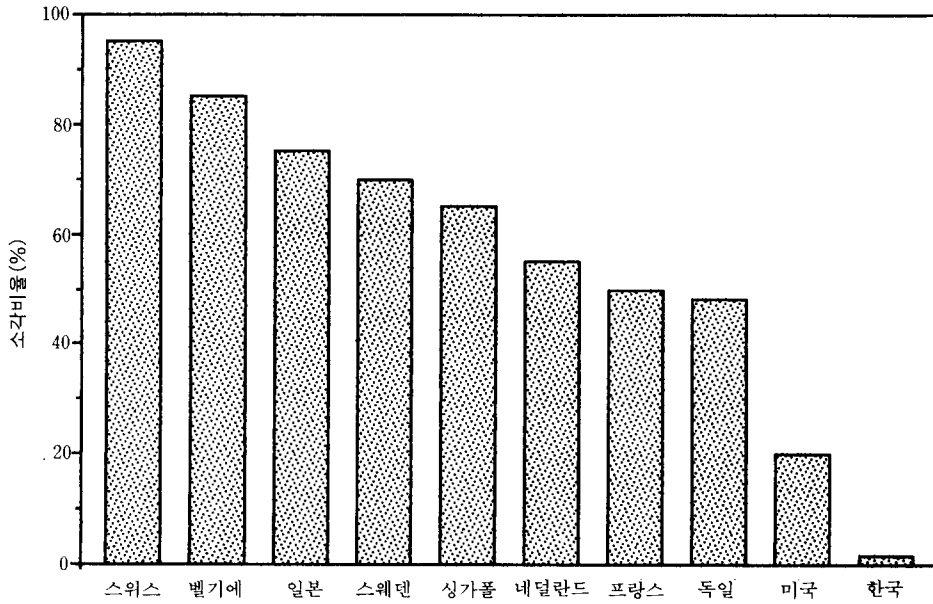


그림 1 국가별 생활폐기물의 소각처리 비율 비교(1992 기준)

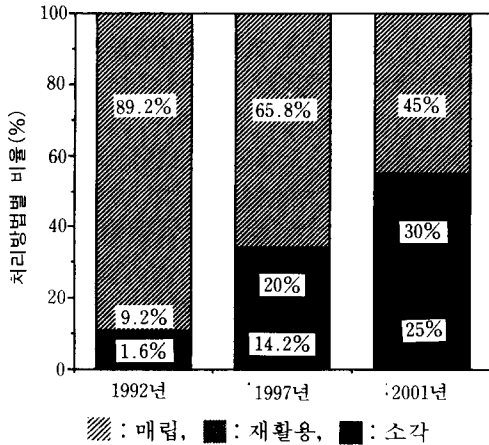


그림 2 정부에서 추진하고 있는 생활폐기물의 처리 계획

에너지 회수, 소각 플랜트 운전 및 제어기술, 그리고 공해 방지기술도 함께 해결되어야 할 시급한 과제로 여겨지고 있다.

2. 도시 쓰레기의 특성

도시 쓰레기의 소각로를 설계함에 있어서

가장 먼저 이루어져야 할 일은 설치 예상 지역에 대한 쓰레기의 특성을 조사하는 것이다. 이것은 쓰레기의 성상에 따라 로의 구조나 화격자의 형식 등 소각로에서 가장 중요한 설비의 형상이 결정되기 때문이다. 따라서 현재 국내 발생 쓰레기의 실태를 무시하고 특성이 다른 쓰레기에 대하여 개발된 선진기술을 그대로 도입하는 것은 주의할 필요가 있다.

쓰레기의 특성은 물리적 조성, 원소분석치, 공업분석치, 발열량, 겉보기 비중 등으로 나타내어 진다. 표 1은 국내 도시 폐기물에 대한 기존의 성상분석 결과를 취합한 자료⁽¹⁾로서 앞서 언급된 여러가지의 쓰레기 특성치들의 예를 보여주고 있다. 또한 본 표에서는 향후 건설될 소각시설의 설계기준이 될 수 있는 1996년과 2001년의 쓰레기 특성치를 예측하였으며, 국가별 쓰레기의 특성 차이를 살펴보기 위해 1990년 동경의 폐기물 분석결과를 함께 제시하였다.

국내 도시 폐기물에 적합한 소각로를 설계

표 1 국내 도시폐기물의 성상 추이⁽¹⁾

		비 교 치	'86년~'90년	1996년	2001년	'90년 동경
물리적조성 %	가연성	종이류	16.10	23.0	25.0	46.2
		고무, 플라스틱류	10.36	15.0	16.0	8.0
		섬유, 가죽류	4.36	5.0	5.0	4.2
		음식물류	36.66	45.0	45.0	28.2
		목재, 기타	6.13	2.0	2.0	10.8
		소계	73.61	90.0	93.0	97.4
	불연성	유리, 금속류	8.38	6.0	5.0	2.3
		연탄, 기타	18.01	4.0	2.0	0.3
		소계	26.39	10.0	7.0	2.6
원소분석 %	C	48.75				
	H	6.73				
	O	40.70				
	N	2.00				
	S	0.34				
	기 타	C1:2.18				
공업분석 %	수 분	47.44				
	회 분	20.14				
	가연분	32.42				
저위발열량[kcal/kg]			1295	1670	1770	1864
비 고				재활용 고려치 않음.		

함에 있어서 고려되어야 할 주요 특성으로는 다음과 같은 사항들이 있다.

- 50%에 달하는 고수분 함유
 - 수분 및 불연물의 과다 함유로 인한 저발열
 - 연료 및 생활문화의 변화에 의한 성상의 급격한 변동
 - 장마철, 김장철 등과 같은 급격한 계절적 변화
 - 종이, 플라스틱 등 주요 가연물의 재활용 증가 추세
- 위의 특성들은 소각성능, 공해 발생특성

등 주요 성능인자와 직접적인 연관이 있는 사항으로서 국내 폐기물의 특성을 제대로 파악하고 이를 소각로 설계단계에 반영하기 위해서는 지속적인 폐기물 성상 자료의 축적과 기존의 소각 설비에서 얻어지는 운전 데이터들에 대한 치밀한 분석 노력이 있어야 한다.

3. 쓰레기 소각 플랜트의 기능 및 구조

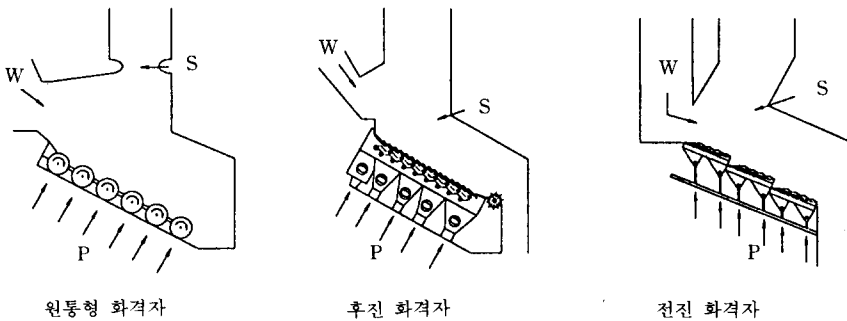
폐기물의 소각 처리를 담당하는 소각로는 흔히 스토커(stoker) 연소방식, 회전로(rotary kiln) 연소방식, 그리고 유동상(flui-

dized bed) 연소방식 등으로 구분하고 있으며, 그림 3에 각 연소방식에 대한 소각로의 형태를 나타내었다. 이와 같은 연소방식은 처리대상 폐기물의 종류 및 처리량 등에 따라 선택되고 있으나 도시 폐기물의 중·대규모 소각에는 스토커 연소방식이 주를 이루고 있으며, 최근에는 일부에서 유동상식을 계획하고 있다.

스토커식 소각로는 화격자(grate)의 형식과 연소로의 구조에 따라 여러가지의 타입이 존재하고 있는데, 이중 가장 대표적인 것이 그림 3에 보이는 바와 같이 원통형 화격자 방식(독일 DBA사), 후진화격자 방식(독일

Martin사)과 전진화격자 방식(스위스 Von Roll사) 등을 들 수 있다. 이러한 다양한 형태의 화격자 방식은 각기 고유한 성능과 특성을 갖고 있기 때문에 화격자 설계시에는 소각로의 설치 장소와 용량, 대상 쓰레기의 발열량, 화격자의 형상, 가스 유동방식 그리고 화격자의 중량 부하와 열부하 등에 대한 검토가 있어야 한다.

그림 4는 스토커식 소각로중 (주)대우에서 시공한 바 있는 Von Roll 타입의 소각 플랜트 설비를 보여주고 있다. 스토커식 소각로에서의 전반적인 쓰레기 소각과정과 각 설비의 기능을 살펴보면 다음과 같다.

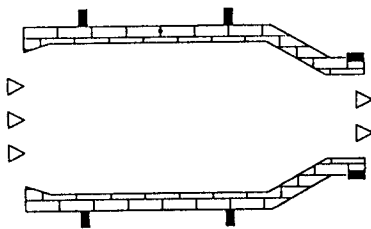


원통형 화격자

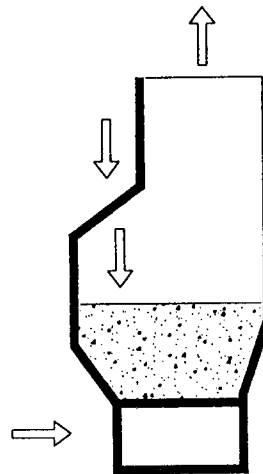
후진 화격자

전진 화격자

(a) 스토커 연소방식



(b) 회전로 연소방식



(c) 유동상 연소방식

그림 3 연소방식에 따른 소각로 형상

- | | | | | | |
|----------|-------------|------------|-------------|----------------|------------|
| 1 반입실 | 6 건조화력차 | 11 소각재냉각장치 | 16 전기집진기 | 21 공기흡수기 | ⇒ 쓰레기효율인향 |
| 2 쓰레기투입반 | 7 연소화력차 | 12 재크레인 | 17 유인송풍기 | 22 쓰레기 크레인 조정실 | ⇒ 재효율인향 |
| 3 쓰레기받키 | 8 후연소화력차 | 13 재분쇄기 | 18 배기가스세정탑 | 23 배수차단장치 | ⇒ 배기가스효율인향 |
| 4 쓰레기크레인 | 9 재처리관 | 14 압입송풍기 | 19 굴복 | 24 중압제어실 | |
| 5 투입호퍼 | 10 리튬칼호퍼·슈트 | 15 보일러 | 20 증기터빈 발전기 | 25 여압이음설비실 | |

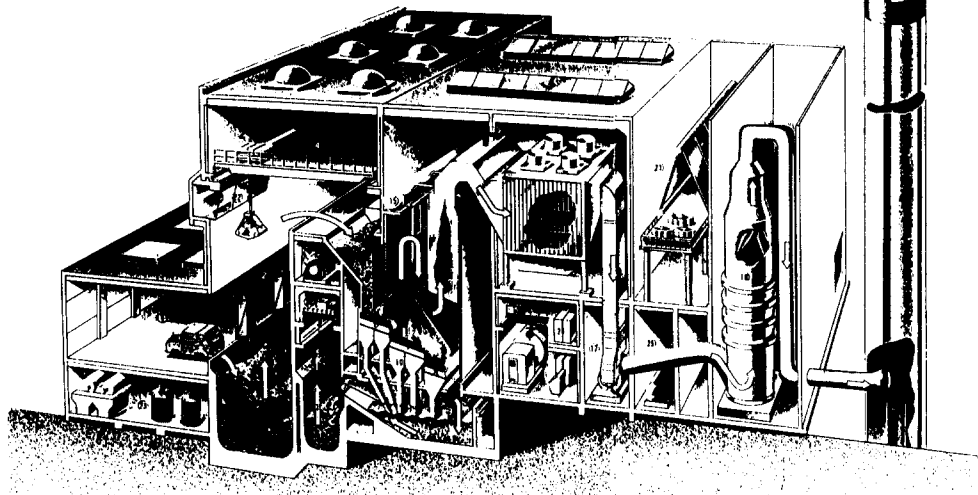


그림 4 Von Roll식 쓰레기 소각 플랜트

수집된 쓰레기는 계량과정을 거쳐 쓰레기 병커에 일시저장된 다음 쓰레기 반입 크레인에 의해 로의 호퍼로 투입된 후, 화격자 상단으로 이동된다. 이동된 쓰레기는 이미 연소되고 있는 쓰레기와 혼합되어 건조와 착화가 동시에 이루어지며, 주연소부에서 타고 있는 쓰레기는 점점 화격자 종단부로 이동하며 완전 연소된 재는 재처리 설비로 낙하되어 냉각된 후 재병커로 유입된다.

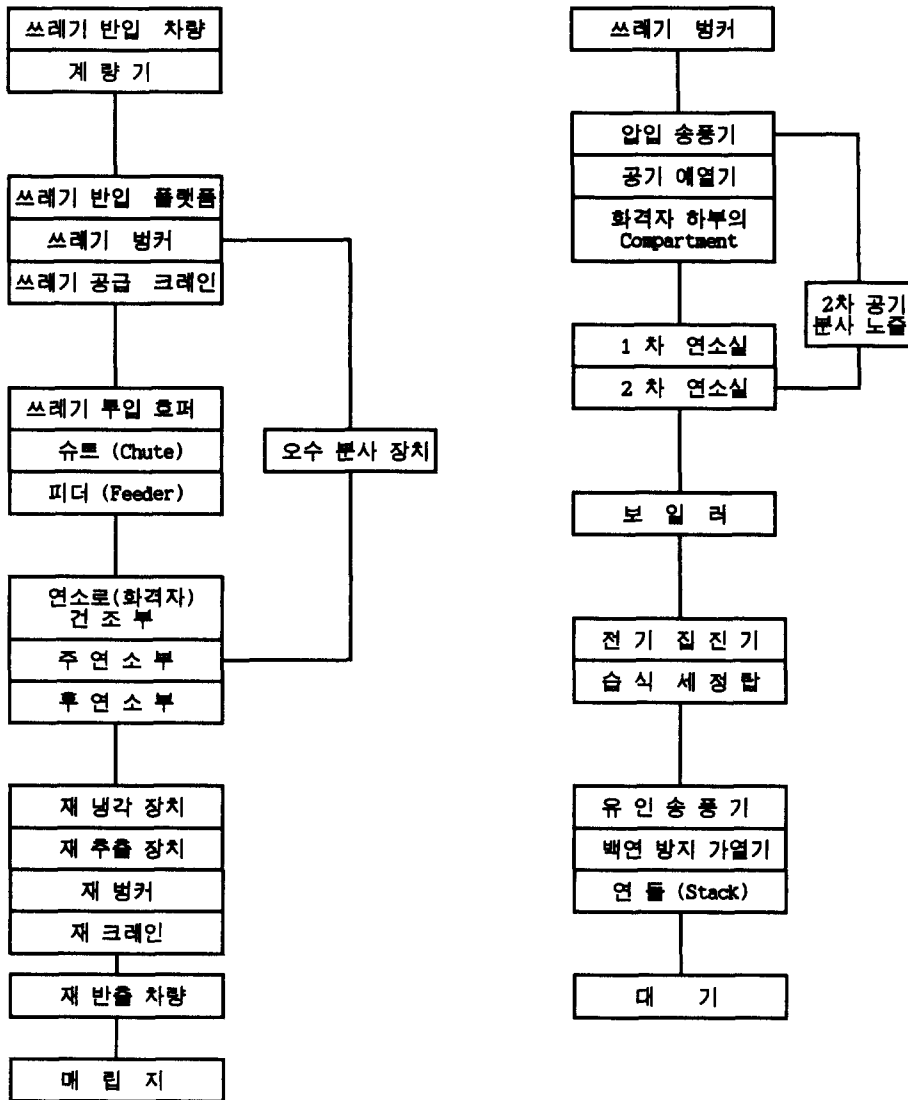
한편, 쓰레기를 연소시키는 필요한 공기는 악취가 외부로 유출되는 것을 방지할 목적으로 쓰레기 병커에서 압입 송풍기에 의해 흡입되고 공기 예열기로 가열된 후, 별도 제어 가능한 4~6개의 구획으로 나누어져 화격자를 통해 연소로로 송입된다. 이와는 별도로 불완전 연소물질의 완전 연소를 위하여 총 공기 공급량의 20~40% 정도의 2차 공기가 연소로 측면으로부터 분사되도록 구성되어 있다. 쓰레기 연소에 의해서 발생한 고온의 연소가스는 1차, 2차 연소실을 거쳐 냉각

설비 및 가스 처리설비로 이동하게 된다.

연소로와 화격자 이외의 기타 주요 설비는 열회수 및 가스 냉각기능을 갖는 보일러 설비와 연소가스에 포함되어 있는 공해물질을 제거하기 위한 공해 방지설비 등을 들 수 있다. 냉각장치를 거친 연소가스는 후단부에 설치된 기기들의 부식을 방지할 수 있는 적정 온도범위인 300°C 이하로 유지되어야 한다. 공해 방지설비로서 대표적인 것은 집진 시설과 습식세정탑 등을 들 수 있다.

이외에도 노내 소각재와 집진기에서 포집된 분진을 운반, 적재, 반출하는 재반출 설비와 소각장내의 각종 폐수를 생물학적, 화학적으로 처리하는 폐수 처리설비, 공정수 및 생활용수 등을 공급하고 각종 오수를 배수하는 급배수 설비, 압축공기 및 연료 공급 설비 등 각종 부대설비로 구성되어 있다.

이와 같이 여러 단계의 프로세스를 거쳐 처리되는 쓰레기와 연소공기의 흐름 및 이에 따르는 제반 설비계통을 그림 5에 요약하였다.



(a) 쓰레기와 재의 흐름

(b) 연소공기와 배기가스의 흐름

그림 5 스토커식 소각 플랜트에서의 쓰레기 및 연소공기흐름에따른 설비계통

4. 국내 소각기술의 현황과 향후 개발 방향

앞에서 언급한 바와 같이 폐기물의 소각 처리기술은 유럽을 중심으로 발전되어 왔으며, 그 대표적인 국가가 독일, 스위스, 덴마크

등이다. 현재는 Von Roll(스위스), Martin(독일), VKW(독일), Volund(덴마크), Brunn & Sorenson(덴마크) 등 5개 업체가 소각로 기술을 지배하고 있다.⁽²⁾ 이외에 미국과 일본지역에도 폐기물 소각기술을 보유한 업체가 많이 존재하고 있고, 일본의 경우는 유럽에 비해 다소 소각시설 개발이 늦게

시작되었으나, 현재 세계에서 가장 많은 소각로 보유국이 되었으며 특히 유동성 연소방식에 관한 기술개발이 많이 이루어져 있다.

이와 같이 선진 각국에서는 다양한 연소방식, 연소로 및 화격자의 설계기술이 개발되어 널리 실용화되고 있으며, 최근에는 각종 폐기물의 특성에 맞는 연소로를 개발하여 소각 및 열회수의 효율과 공해방지 효과를 제고시키기 위한 연구 노력을 기울이고 있다. 한편, 소각시설은 폐기물 연소 과정에서 2차 오염을 유발하는 물질을 배출할 수 있기 때문에 이러한 시설에 대한 대기오염 방지장치, 자동적인 측정과 모니터링 체계, 그리고 공정 제어 시스템 등을 강화하여 소각처리 시설에 적용시키고 있다.

우리나라에서는 90년대에 들어서 소각로 건설이 본격적으로 착수되었는데, 표 2에 그 현황을 제시하였다. 표에 나타나 있는 바와 같이 많은 기업이 소각로 사업에 참여하고 있으나 대부분 자체 기술력이 부족하기 때문에 경쟁적으로 선진 기술을 도입하고 있다. 이러한 선진 기술도입에 의한 소각로 건설에는 기술적인 또는 경제적인 여러 문제점이 따르게 되는데 그 대표적인 예로는 다음과 같은 것들이다.

- 총공사비의 10~20%에 이르는 기술료와 부품 수입비용
- 경쟁적인 기술 도입에 따른 도입조건 악화 및 비용 증가
- 핵심 기술의 이전 기피 현상

표 2 국내 소각로 건설현황

구 분	용량(톤/일)	형 식	건설현황	시공업체	기술도입선	비 고
의정부	50(25×2)	스토커식	가동중	롯데기공	KUBOTA(일)	
목 동	150(150×1)	스토커식	가동중	(주)대우	HITACHI(일)	Von Roll
대 구	200(200×1)	스토커식	가동중	(주)대우	HITACHI(일)	Von Roll
성 남	100(50×2)	유동상식	가동중	쌍용건설	MITSUI 조선(일)	
평 촌	200(200×1)	스토커식	가동중	동부건설(주)	STEINMULLER(독)	
대 전	100(100×1)	회전로식	가동중	럭키개발(주)	한국에너지연구소	
일 산	300(300×1)	스토커식	건설중	삼성중공업(주)	MISTUBISHI(일)	Martin
노 원	800(400×2)	스토커식	건설중	현대중공업(주)	DBA(독)	
울 산	400(200×2)	스토커식	건설중	현대중공업(주)	DBA(독)	
목동 2차	400(200×2)	스토커식	건설중	(주)선경건설	SEGHERS(벨)	
중동(부천)	200(200×1)	스토커식	건설중	(주)대우	HITACHI(일)	Von Roll
부산(다대)	200(200×1)	스토커식	건설중	한라중공업	VOLUND(덴)	
부산(해운대)	200(200×1)	스토커식	건설중	삼성건설	ALSTHOMSTEIN(프)	
광 원	200(200×1)	스토커식	건설중	한라중공업	VOLUND(덴)	
광 주	400	스토커식	발주단계			
전 주	200	미정	발주단계			
분 당	600	미정	발주단계			
산 분	200	미정	발주단계			

- 향후 수출 시장의 제한
- 국내 쓰레기의 특성 고려 미흡(소각로 성능 및 효율의 저하)
- 기술 도입선의 다변화에 따른 소각 설비의 표준화가 극히 곤란
- 기술 예측 현상의 지속

이러한 문제점들을 해결하고 또한 소각 플랜트 기술의 조속한 자립을 위한 대책으로서는 무엇보다도 선진기술에 대한 심도 있는 분석 연구와 정부와 산·학·연간의 협조 체계에 의한 지속적인 연구개발 노력을 들 수 있다.

우선 선진 원본기술에 대한 철저한 이해를 위해서는, 소각 플랜트의 핵심 기술이라고 할 수 있는 각사 고유의 화격자 모델, 연소로의 최적설계 방법, 그리고 각종 세부적 요소기술, 종합화된 후처리 설비 및 운전 제어 기술 등에 대한 종합적인 조사연구가 선행되어야 한다. 아울러 기존에 도입된 여러 형태의 소각 기술에 대한 Reverse Engineering 노력과 가동중인 플랜트의 운전 데이터 분석도 함께 이루어져야 한다. 또한 선진 각사가 보유하고 있는 특허 기술조사 및 각국의 환경관련 정부기관 등이 주관하여 제정한 소각로 관련 규정 또는 행정지도 방안에 대한 기술분석도 중요하리라 여겨진다. 이같은 선진 기술에 대한 근본적인 이해 노력으로부터 체계적인 설계절차를 발굴해 낼 수 있으며 또한 독자 모형의 설계대안을 도출해 낼 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 선진기술대비 20~30% 수준에 머무르고 있는 국내의 폐기물 소각기술⁽²⁾을 급진적으로 도약시키기 위해서는 무엇보다도 국내의 환경 특성에 맞는 소각 기술의 자체 개발 노력과 이를 추진해 나아갈 전문 기술자의 양성이 가장 시급한 과제로 여겨진다. 이의 일환으로서 80년도 후반부터 정부와 산·학·연간의 협조에 의한 폐기물 소각기술 연구가 본격적으로 수행하기 시작하였다. 그 예부터 렉키개발과 에너지자원연구소에서 개

발하여 대전 신대동에 건설한 100T/D 규모의 회전로식 소각로를 들 수 있으며, 또한 92년 말부터 범정부적으로 수행되고 있는 21세기 선도기술 개발사업(G-7 Project)에 의해 추진되고 있고 폐기물 저공해 소각기술에 관한 연구를 들 수 있다. 이중 도시 쓰레기 소각을 위한 연구분야로서는 대우, 삼성, KAIST, KIMM이 공동으로 개발하고 있는 300T/D급 스토커식의 '대도시형 저공해 소각 시스템 개발'과제를 들 수 있다.⁽³⁾ 이외에도 많은 기업과 연구 기관에서 소각 기술에 관한 연구를 수행해 오고 있으며 이와 같은 연구개발 노력과 투자가 지속된다면 2000년까지는 소각 기술 및 소각 플랜트 기술의 완전 자립뿐 아니라 수출 상품화까지도 가능할 것으로 기대되고 있다.

이와 같은 기술적 측면에서의 노력외에 제도적, 문화적 차원에서 해결해야 할 문제점들도 많이 존재하고 있다. 그중 대표적인 것이 지역 주민들의 소각로 기피현상이다. 이에 대한 대책으로서는 소각로의 안전성과 신뢰성에 대한 지속적 홍보, 주민들에게 제공될 수 있는 제반 혜택에 대한 이해 증진, 완벽한 공해방지 설비 및 운전 상황의 공개, 그리고 주변 환경과 어울리는 소각 플랜트의 외관 및 환경 조성 등과 같은 노력을 통해 주민들의 인식 변화를 도모해야 한다.

5. 맺음말

최근에 매립에 의한 도시 쓰레기 처리방법이 한계에 도달해감에 따라 이를 좀더 감량화하고 안정적으로 처리할 수 있는 소각처리 기술의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 정부에서도 2001년까지 국내 생활쓰레기의 25%를 소각 처리하는 것을 목표로 투자 계획을 세워놓고 있으며 이를 달성하기 위해서는 무엇보다도 소각기술 및 소각 플랜트 기술의 자립이 급선무이다.

현재 우리나라의 소각로 기술은 초보적인

단계에 머물러 있으며, 그 동안 대부분의 소각로를 외국 기업으로부터의 기술 도입을 통하여 건설하여 왔다. 이와 같은 방법은 기술적으로나 경제적으로 많은 불이익이 있으며 특히 소각로 설계 기술의 자립과 국산화라는 근본적인 목표 달성이 지연되는 문제가 있다. 이러한 기술상의 한계성을 극복하기 위해서는 무엇보다도 선진 원본기술에 대한 심도있는 분석 연구와 정부 및 산·학·연간의 협조에 의한 연구 개발노력과 투자가 지속되어야 한다. 또한 소각로의 안전성과 신뢰성 향상을 위한 꾸준한 기술개발이 이루어져야 하며 지역 주민들에 대한 적극적인 홍보를 통하여 현재 문제가 되고 있는 소각로 기피

현상을 조속히 타개해야 할 것이다.

참고문헌

- (1) 김석준, 길상인, 심성훈, 1993, “도시 쓰레기의 특성과 소각로 화격자의 설계,” '93 대한기계학회 추계학술대회논문집(Ⅱ), pp. 522~526.
- (2) 김병채, 1994, “국내 폐기물 소각처리 현황,” 한국과학재단 제 126회 학·연·산 연구교류회
- (3) 김성중, 최상민, 1993, “소각로 설계의 고려 사항,” 대한기계학회 '93 추계학술대회논문집(Ⅱ), pp. 515~521. 