

소각시설 개선 및 운전기술의 발전

폐기물관리법 및 대기환경보전법 등 관련법에 의한 소각시설의 설치기준 및 관리기준이 강화됨에 따라 기존에 운영 중인 시설의 개선과 함께 운전기술의 발전노력을 소개하고자 한다.

유 만 식

환경관리공단 일산사업소(msyou@emc.or.kr)

우리나라 폐기물관리종합계획은 폐기물관리법 제 8조의 규정에 따라 정책비전과 방향을 제시하고 있으며, '93년『제1차 국가폐기물관리종합계획』을 수립한 이래 쓰레기 종량제 등 폐기물 감량 및 재활용 정책의 시행, 폐기물처리시설 확충 등을 통하여 폐기물관리 기반을 다져 왔다. 그러나, 우리 경제가 고도성장에서 안정성장 기조로 전환되고 산업구조가 고도화됨에 따라 폐기물 관리여건 또한 빠르게 변화되고 있어 정부는 2000년 9월 수립된『새천년 국가환경비전 실천계획』에 의거 '인간과 자연이 더불어 사는 공동체 구현' 및 이를 위한 4대 원칙(사전예방, 시장경제와 민주주의, 환경과 경제의 통합, 지구환경보전을 위한 공동노력)과 연계하여 '02년 『제2차 국가폐기물관리종합계획』을 수립하였다. 주요 골자

는 재활용 활성화와 2000년도 소각률 11.7%를 2011년까지 30%로 제고하는 것이다.(표 1 참조) 이러한 목표달성을 위하여, 운영 중인 시설의 보완(revamping) 및 개선(retrofit)과 더불어 새로운 운전기술(advanced operation technology)의 확보가 무엇보다 중요하다.

우리나라의 폐기물처리 동향

국내에서는 도시생활폐기물 처리방법에 있어 매립 위주의 처리방법에서 폐기물 재활용을 최우선 정책으로 하여 폐기물을 감량하고 있으며, 일부 가연성 폐기물은 소각방법으로 처리하고 있다. 매립의 경우, 1999년까지는 50% 이상의 처리비율을 보였으나

<표 1> 도시생활폐기물(MSW) 처리 목표

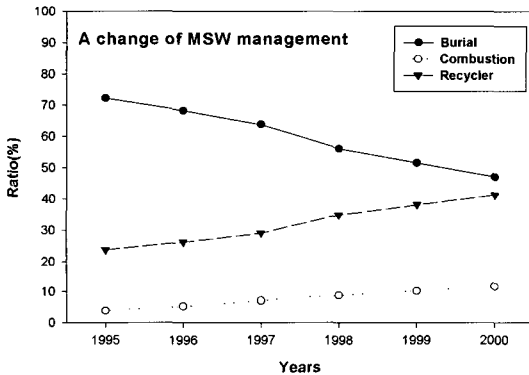
구 분	2000(실적)	2005	2008	2011
발생량 (kg/인)	46,438 (0.98)	47,705 (0.97)	47,164 (0.94)	46,414 (0.91)
재활용량 (목표율)	19,167 (41.3%)	21,944 (46.0%)	23,582 (50.0%)	24,597 (53.0%)
처분대상량	27,271	25,761	23,582	21,817
소 각	5,440 (11.7%)	10,972 (23.0%)	13,206 (28.0%)	13,924 (30.0%)
매 립	21,831 (47.0%)	14,789 (31.0%)	10,376 (22.0%)	7,893 (17.0%)

전국폐기물발생현황조사(환경부, 2001)에 의하면 현재 40%까지 줄어든 것으로 조사되었다. 반면, 재활용부분이 큰 폭으로 상승되었으며 이는 쓰레기종량제 실시, 1회용품 사용억제, 상품의 과대포장억제 및 음식물쓰레기 줄이기 정책 등에 의한 결과인 것으로 파악되고 있다. 한편, 소각처리비율은 다소 상승하였으나 상승률이 적은 이유는 소각시 발생하는 오염물질에 대한 주민들의 불안감과 환경기초시설이 설치될 경우 인근 주민들의 재산가치에 부정적인 영향을 우려한 NIMBY 현상으로 인하여 당초 계획했던 소각을 달성하지 못한 것도 한 원인이다. 이러한 사회적인 문제점 해결을 위하여 보다 안정적인

시설설치와 상호 신뢰를 바탕으로 한 환경정책을 수행하면 폐기물 처리의 방법에 많은 변화가 있을 것으로 사료된다. 그림 1은 연도별로 폐기물처리방법의 추이변화를 보여주고 있다.

소각시설의 설치기준 변천과정

소각시설의 설치 및 운영과 관련하여 무엇보다 큰 변화는 폐기물관리법의 변천과 함께 '95년 쓰레기종량제 시행 및 '97년 다이옥신의 관리기준 제정과 2005년 음식물류폐기물 직매립 금지제도 도입이라 할 수 있다. 그 중에서도 큰 변화는 다이옥신에 대한 사회적인 관심과 함께 다이옥신의 관리기준을 제정한 것인데 이는 바로 소각시설의 설치기준 강화와 배출가스 처리공정의 변화를 가져왔다. 폐기물관리법에서 정하고 있는 소각시설의 설치기준 변천과정은 표 2과 같으며 이러한 설치기준은 소각로 설계시 고려할 기본적인 요소(design factor)를 제시함으로써 시설 설치 후 운영 시 다이옥신의 최소 배출을 목표표로 하고 있다.



[그림 1] 연도별 도시생활폐기물(MSW) 처리방법의 변화

소각시설의 주요공정 변화

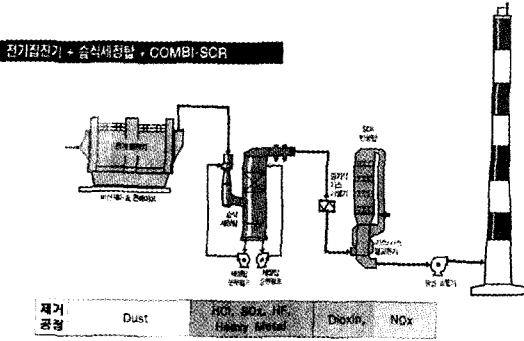
소각시설은 일반적으로 크게 반입공정(pre-incineration), 연소공정(incineration), 배출가스 처리공정(post-incineration)등 세 가지로 구분할 수 있

<표 2> 소각시설의 설치기준 변천과정

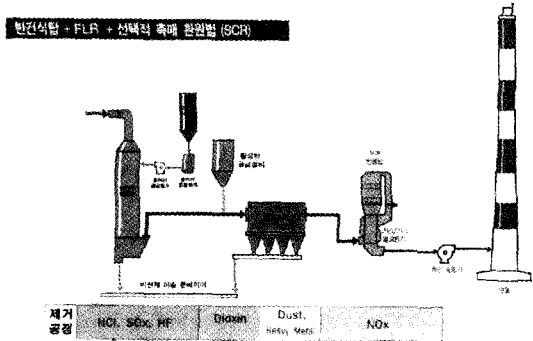
구분	단위	총리령467호 ('94.10.8)	환경부령18호 ('96.2.5)	환경부령27호 ('97.7.19)	환경부령82호 ('99.8.9)	환경부령127호 ('02.8.7)
연소실 출구온도	℃	700	800	850	850	850
가스체류시간	sec	0.5	2	2	2	2
먼지농도	mg/Sm ³	80	80	80	80	50('050이후)
일산화탄소	ppm	600	600	30	50	50
강열감량	%	20	15	10	5('080이후)	5
보일러 출구온도	℃	300	250	200	200	200
다이옥신	ng-TEQ/Nm ³	-	-	0.5/0.1	0.5/0.1	0.1
성능검사	-	최초검사	매5년	매3년	매3년	매3년

주) 1. 폐기물관리법에 의한 일산화탄소 농도는 4시간 평균치임.

2. 다이옥신의 배출허용기준은 '97.7.19 이전에 설치된 시설의 경우는 0.5 ng-TEQ/Nm³ 이며 당시 공사 중이었거나 그 이후 설치된 시설은 0.1 ng-TEQ/Nm³을 적용.

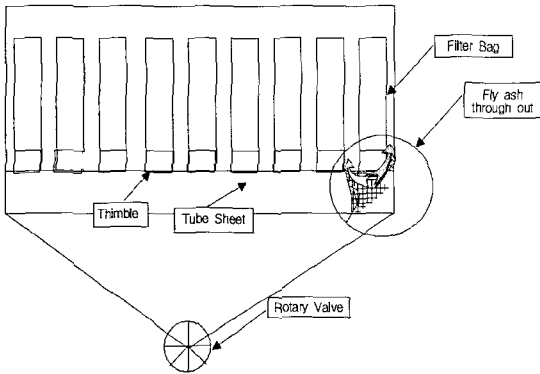


다이옥신 기준 제정 전



다이옥신 기준 제정 후

[그림 2] 배출가스 처리과정(Post Incineration) 변화



[그림 3] 초기 Reverse Type Bag Filter의 Trouble

으며 건식의 경우에는 산성가스를 제거하기 위하여 분말상태의 소석회를 투입하며, 반건식의 경우에는 슬러리 상태의 소석회를 주입하며, 습식의 경우에는 대표적인 공정으로 전기집진기(EP)와 세정식집진기(W/S)를 채택한다. 이러한 방식별 배기가스 처리공정에 대한 시스템 구성을 표 3에 나타내었다.

시설개선 및 운전기술 발전사례(일산소각장)

소각후 발생하는 오염물질의 저감을 위하여 소각 시설 운영자는 끊임없는 노력을 경주하여야 한다. 본고에서는 환경관리공단에서 운영하고 있는 일산 소각장의 시설개선 및 운영기술 개선사례 위주로 소개하고자 한다.

일산소각장은 '95년도 준공 이래 '98년 다이옥신 저감대책의 일환으로 전기집진기(EP) 및 세정식 집진시설(W/S)의 공장에서 반건식반응기(semi-dry reactor)와 여과집진기로 개선하였다. 그러나 그림 3과 같이 장시간 운전시 백펠터의 텀블과 튜브슈트의 부식 마모로 운전의 어려움이 발생하여 '04년에는 Reverse Type의 여과집진기를 보다 완벽한 시스템인 Pulse Type으로 변경 개선하였다. 그 결과 '04.10월 전까지 먼지의 평균 배출농도가 9 mg/Sm³이던 것이 시설 개선 후 1.25 mg/Sm³로 현격하게 감소하는 효과를 얻었다.

소각시설의 오염물질 중 가장 관심의 대상이 되고 있는 물질은 다이옥신으로서 오염물질 성격상 연속 측정이 곤란하여 그 지표로 먼지 및 일산화탄소 등

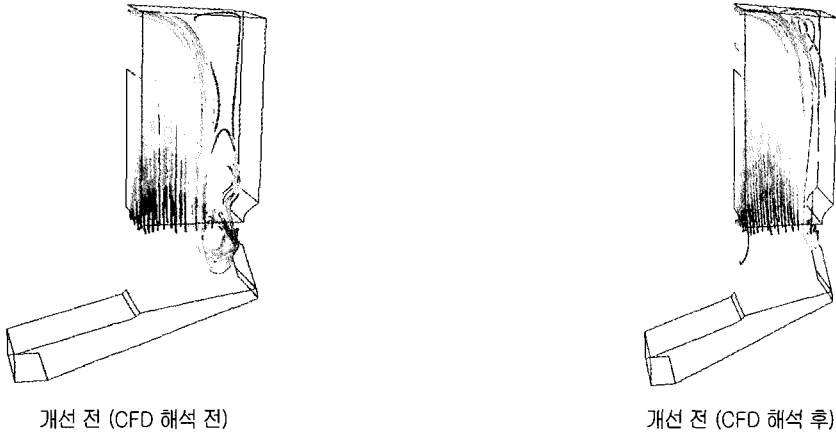
다. 이중 반입공정은 폐기물의 균질화를 위하여 조대 폐기물을 파쇄하거나 혼합하는 공정을 말하며, 연소공정은 소각로의 핵심 주요공정으로서 로내 투입된 폐기물을 소각시키는 역할을 수행하도록 되어 있고, 배출가스 처리공정은 소각로에서 배출되는 850℃ 이상의 배기가스를 냉각시킨 후 배기가스 내에 있는 오염물질을 제거 처리할 수 있도록 구성되어 있다. 소각시설에 대한 설치기준의 강화에 따라 배출가스 처리공정 또한 큰 변화를 가져왔는데 주로 습식공정위주로 설치되어 있던 시설이 다이옥신의 재합성 금지와 유해가스의 처리기준에 맞출 수 있도록 처리공정의 구성이 그림 2와 같이 변화가 있었다.

한편, 소각시설에서 발생하는 배출가스 처리를 위한 공정은 건식, 반건식, 습식, 등으로 구분할 수 있

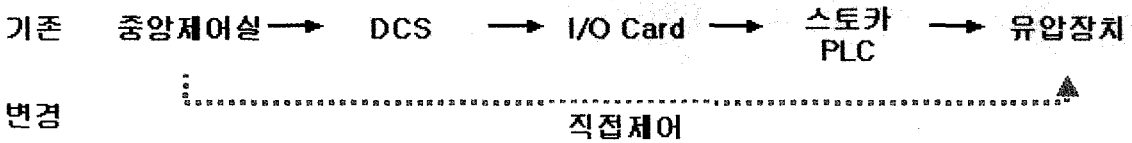
<표 3> 일반적인 배출가스 처리공정

HCl, SOx treatment	Process								
건	Combustor	Boiler	건식 유해가스	EP / BF	IDF	STACK			
	Combustor	SNCR	Boiler	GC	건식 유해가스	BF	IDF	STACK	
	Combustor	Boiler	건식 유해가스	BF	SCR	IDF	STACK		
식	Combustor	SNCR	Boiler	건식 유해가스	EP / BF	IDF	SCR	STACK	
	Combustor	Boiler	반건식 유해가스	EP / BF	IDF	STACK			
반	Combustor	SNCR	Boiler	반건식 유해가스	EP / BF	IDF	STACK		
	Combustor	SNCR	Boiler	반건식 유해가스	BF	IDF	STACK		
	Combustor	Boiler	반건식 유해가스	EP	IDF	W/S	STACK		
습	Combustor	Boiler	GC	반건식 유해가스	EP / BF	IDF	STACK		
	Combustor	Boiler	반건식 유해가스	BF	IDF	STACK			
	Combustor	Boiler	반건식 유해가스	EP	IDF	W/S	STACK		
	Combustor	Boiler	반건식 유해가스	EP	SCR	IDF	W/S	STACK	
기	Combustor	SNCR	Boiler	건식 유해가스	반건식	BF	SCR	IDF	STACK
	Combustor	Boiler	건식 유해가스	BF	IDF	W/S	SCR	STACK	
	Combustor	SNCR	Boiler	건식 유해가스	BF	IDF	SCR	STACK	
타	Combustor	Boiler	건식 유해가스	BF	IDF	W/S	SCR	STACK	

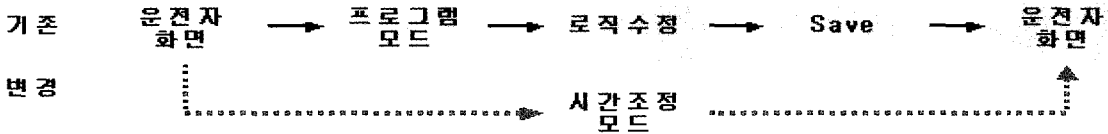
주) 1. EP : Electrostatic Precipitator 2. B/F : Bag Filter 3. IDF : Induced Draft Fan
 4. SNCR : Selective Non Catalytic Reactor 5. W/S : Wet Scrubber



[그림 4] CFD 해석을 통한 운전조건 변경



[그림 5] 중앙제어장치 운영프로그램 변경 경로단축(신속한 변경 가능)



[그림 6] 쓰레기 투입시간 조정용 프로그램설치(운전조건에 의한 변경가능)

을 대상으로 관리한다. 다이옥신은 입자상 다이옥신과 가스상 다이옥신으로 구분하며 일산소각장에서는 입자상 다이옥신의 최소화를 위하여 여과집진기를 개선함과 동시에 가스상 다이옥신의 최소화를 위해 일산화탄소 농도에 대한 관리를 집중적으로 하였다. 일산화탄소 농도의 관리를 위하여 소각로의 유동장 해석(연소용 공기 주입에 따른 소각로내의 배출가스 흐름 분석)을 통해 연소용 공기량을 조절하였다. 이러한 CFD(computation fluid dynamic) 해석 전의 연소가스 흐름과 개선후의 배출가스 흐름은 그림 4와 같다.

아울러, 운전 모드 중 스팀 제어방식에서 온도제어 및 배가스 제어방식으로 전환하여 배출가스의 오염물질 농도에 주안점을 두고 운영하고 있으며, 투입호퍼의 투입량 조정으로 로내 밀림현상 방지와 쓰레기 벙커의 침출수를 신속하게 배수하며 로내에 투입되는 쓰레기의 균질화를 위해 노력하였다. 또한 중앙제어실의 제어시간이 길어 신속한 모드의 변경이 곤란하고 이럴 경우 일산화탄소의 농도가 증가할 우려가 있어 운전모드를 그림 5, 6, 7과 같이 변경하여 안정적인 운전조건이 되도록 하였다.

먼지 농도의 최소화를 위한 여과집진기의 개선 및

연소공기량 조정, 운전모드의 개선을 통하여 법정기준 이하의 자체관리 기준을 설정하여 운전함으로써 실제 오염물질의 배출농도를 현격하게 저감시켰으며, 결과는 표 4와 같다.

폐기물의 고발열량화에 따른 문제점

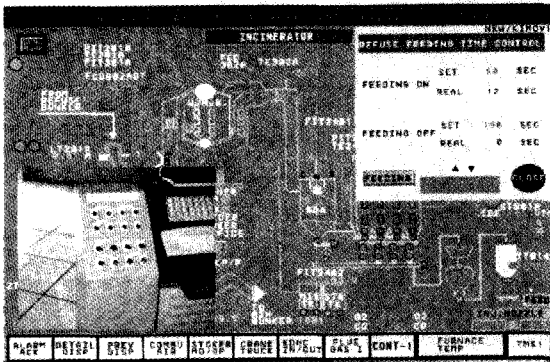
우리나라 폐기물관리의 역사에 있어 대전환점을 본다면 1995년 실시된 쓰레기종량제의 도입과 2005년부터 시행되는 음식물쓰레기 직매립 금지제도라 할 수 있다. 특히 음식물쓰레기 직매립 금지는 배출단계에서부터 전용봉투 또는 용기에 분리 배출함으로써 기존에 운영 중인 소각시설의 반입폐기물에 대한 고발열량화를 가속시켜 1990년대초 기본계획 당시 저질쓰레기(900~1,000 kcal/kg)에 대한 대책위주로 설치된 소각시설에 대한 열부하가 초과되어 소각량은 설계용량보다 훨씬 못 미치고 있는 것으로

나타나고 있다.

요즘 신규로 설치하는 소각로를 제외하고는 전국 대부분 중대형 소각로의 고질 쓰레기 발열량의 설계치는 2,200 kcal/kg로 되어 있으나 표 5에서 보는 바와 같이 2003년부터는 발열량이 설계치를 초과하여 반입되고 있는 실정이다. 이에 따른 발열량 상승에 따른 문제점으로는 소각로 열부하 증가에 의한 소각량의 저하뿐만 아니라 과열상태로 인한 내화물의 손상 가중, 보일러의 과부하 운전으로 인한 파손 우려 및 위험산재, 노 내부의 고온화에 의한 적정 온도 조절 곤란 및 오염물질 과다발생, 방지시설의 설비 노후화를 촉진시키는 등의 문제가 발생될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존설비의 운전 조건을 변경하는 단기적인 방안과 시설의 개조 및 개선(revamping)을 통한 장기적인 방안으로 그 대책을 수립하여야 한다.

고발열량 폐기물에 대한 대책

단기적인 방안으로는 소각시설의 안정적인 운전을 위하여 감량 소각하는 방법과 물(water)의 증발잠열을 이용하여 소각로내 열부하를 감소시킴으로써 소각량을 증대시키는 방안 등을 검토할 수 있으며, 장기적인 방안으로는 소각로 및 보일러를 개조하는 revamping 기술의 적용이 대표적이다. 아직까지 국내에는 단기적인 방안으로 연소용 공기의 온도조절이나 음식물 쓰레기 또는 하수 슬러지(탈수 슬러지 기준)로 전체 소각량의 약 10% 내외) 등의 혼소를 통한 대책 등이 현장에 적용되고 있으나, 외국의 경우에는 revamping 기술을 적용하고 있다. 대표적인



[그림 7] 중앙제어실 DCS 제어 화면

<표 4> 시설개선 및 운전모드 개선후 오염물질 배출농도

항 목	'04년 기준	'05년 기준		실제 배출 농도	법정기준대비 배출비율
		법정기준	자체관리기준		
일산화탄소(CO)	600 ppm	50 ppm	30 ppm	3 ppm 이하	6%
염화수소(Hcl)	50 ppm	30 ppm	10 ppm	1 ppm 이하	3.3%
황산화물(SOX)	300 ppm	30 ppm	10 ppm	1 ppm 이하	3.3%
질소산화물(NOX)	200 ppm	80 ppm	50 ppm	45 ppm	56%
먼 지(DUST)	80 mg/Sm ³	30 mg/Sm ³	10 mg/Sm ³	1.25 mg/Sm ³	4.1%

<표 5> 전국 소각장 반입폐기물 발열량

구분	발열량(kcal/kg)	삼 성분(%)			비고
	평균	가연분	수분	회분	
1997년도	1,496	35	54	11	10개 소각장
2002년도	1,945	43	47	10	29개 소각장
2003년도	2,243	48	42	10	32개 소각장
2004년도	2,302	49	41	10	32개 소각장
2005년도	2,815	53	37	10	일산소각장(1~3월)

시설개선 내역으로는 소각로 내부공간 활용을 극대화하기 위하여 소각로 천장에 2차 공기 노즐을 설치하는 방법, 고온의 연소가스 온도를 적정하게 냉각하기 위하여 소각로 상부에 수분사 시스템을 추가 설치하는 방법, 후연소단을 추가하여 쓰레기 연소를 위한 유효화격자 면적을 증대시키는 방법, rear wall

을 고온가스 냉각을 위하여 수냉식으로 변경하고 벽면은 고온가스로부터 보호하기 위해 세라믹으로 코팅하는 방법, clinker chute의 재배치 및 wet ash conveyor 등을 재배치하여 후연소단을 확장함으로써 소각로내 용적을 극대화시키는 방법 등을 적용하고 있다. ㉔