

# 반건류식 공기제어 소각로의 특성과 운전경험

김 준형<sup>a</sup>, 신 재인, 서 용철

한국원자력연구소 원자력환경관리센터

## - 요약 -

폐기물에서 가용자원인 폐열을 회수할 수 있는 소각로로서 반건류식 공기제어 소각로의 특성을 설명하고 50 kg/hr, 100 kg/hr, 400 kg/hr 및 3 ton/hr 급의 규모로 확대해 가면서 제기된 문제점과 해결된 방안을 중심으로 본 소각로의 운전특성과 환경기준치로 만족시키기 위한 방안을 제시하였다.

## - 서 론 -

우리나라에서 다량으로 발생하는 산업 폐기물중 약 1/3을 차지하는 가연성 폐기물을 소각하여 감량화 시키면서 발생된 열을 이용하면 처분비용의 절감할뿐 아니라 폐기되는 에너지 자원을 재활용하게 된다는 잇점이 있다. 폐기물 처리에 이용되는 건류식 소각로는 회분(batch)식 소각로로서 1차 연소실에서는 가연성 폐기물을 저산소하에서 열을 가하여 탄화시키면서 연무를 발생시키고, 2차 연소실에서 과잉의 공기로 연소시켜 고온의 열을 얻는 구조로 되어 있다. 1회의 회분이 끝날 즈음에는 직연소 방식으로 탄화된 성분을 태워버린다. 건류식 소각로는 회수되는 폐열의 발생량이 주기적이어서 활용상 문제점으로 지적되어 왔다.

일반적으로 산업폐기물을 연료로 이용하는 경우 흔히 연상하는 것은 굴뚝의 매연을 들 수 있다. 그러나 건류가스 소각로를 이용하는 경우 매연을 찾아 볼 수 없는 것은 건류가스의 생성시 폐기물의 혼합이 없기 때문이기도 하지만 벵커C유의 연소온도가 1600 °C 이며 일반소각로의 연소온도가 800 °C 인데 건류가스 소각로의 연소온도는 1100 °C 이상이라는 것을 생각하면 쉽게 이해할 수 있다.

건류식 소각로의 운전은 8 - 12시간 정도의 가스화 시킬 분량을 일괄 투입하여 당량공기 이하의 공기를 하단부에서 주입하면서 점화를 시키면 서서히 건류화 가스가 발생하여 상부로 나와 연소보일러로 들어가게 된다. 연소보일러 입구에 부착된 버너와 당량공기 이상의 공기에 의해 격렬히 연소가 되면서 보일러 내부를 화염으로 채운다. 이때 공기의 주입 및 냉각수에 의해 건류실의 온도 및 건류화 속도를 조절하게 되며 연소보일러의 온도 역시 2차 공기의 주입에 따라 달라지며 온도가 낮은 경우에는 버너에 보조연료를 주입한다.

이러한 건류식 소각로의 장점인 배기가스중의 분진의 함량을 줄일 수 있으면서 폐기물의 연속 투입이 가능한 반건류식 소각로가 소규모로 많이 사용되고 있다. 반건류식 소각로는 건류식에 비해 소각로를 작게 만들수 있는 장점이 있다. 이러한 반건류식 소각로는 건류식 소각로와는 연소특성이 달라서 각종 폐기물의 연소 특성과 이 소각로의 scale-up 시의 문제점을 살펴보았다.

## - 본 론 -

반건류식 소각로는 주로 소형으로 일반연소기와 비슷하게 보일러가 따로 후연소실과 같이 떨어져 있지 않고 단일연소실로 하단부는 건류실이고 상단부는 소각실로 이용되어 간편하며 특히 외벽에 부착된 water jacket을 통하여 폐열을 회수하여 온수로 사용할 수 있다.

본 소각로는 실용신안에 의거 국내에 수백기가 보급된 소각장치로서 공정의 구성은 그림과 같다. 소각대상 폐기물은 일단 회분식으로 연소공간의 중간까지 채운후에 점화시켜서 상단에서 과잉공기의 공급에 의해 연소가 이루어 지는데 이때 상부의 화염을 동반하는 높은 온도에 의해 하부에 충전된 폐기물이 당량공기 이하의 조건에서 휘발 또는 분해가 일어나 가스화 되어 상부로 올라와 연소된다. 이와 같은 조건의

연소가 효과적으로 일어나도록 송풍기에서 공급되는 공기는 damper를 이용하여 노의 상단부를 구분하여 공기량을 조절하게 된다. 즉 초기에는 연소영역이 상부쪽에 치우치므로 상부에 많은 공기를 공급하고 연소표면이 서서히 하부로 이동하면서 하단부의 공기를 서서히 증가시켜 최종에는 하단부에도 과잉공기의 조건으로 만들게 된다. 그러나 연속적으로 폐기물을 투입할 경우에는 연소표면이 노의 중간에 이른 시점에서 (즉 상단부 온도 교차점 이전에서) 추가로 폐기물을 투입하여 상단부의 과잉공기하의 완전연소와 하단부의 공기부족 상태로 가스화를 유도하여 연소하게 된다. 또한 연소를 촉진하기 위하여 소각로 중앙과 내벽에 설치된 파이프에 노즐을 접선방향으로 설치하여 상부 공간에서의 공기 흐름이 시계방향으로 와류가 되게 하였고, 하부 폐기물이 충전된 부분에서는 공기주입이 균일하도록 유도하였다. 따라서 연소실 내에 불감영역 (dead zone)이 없고 소각효율을 높일 수 있는 구조로 되어있다.

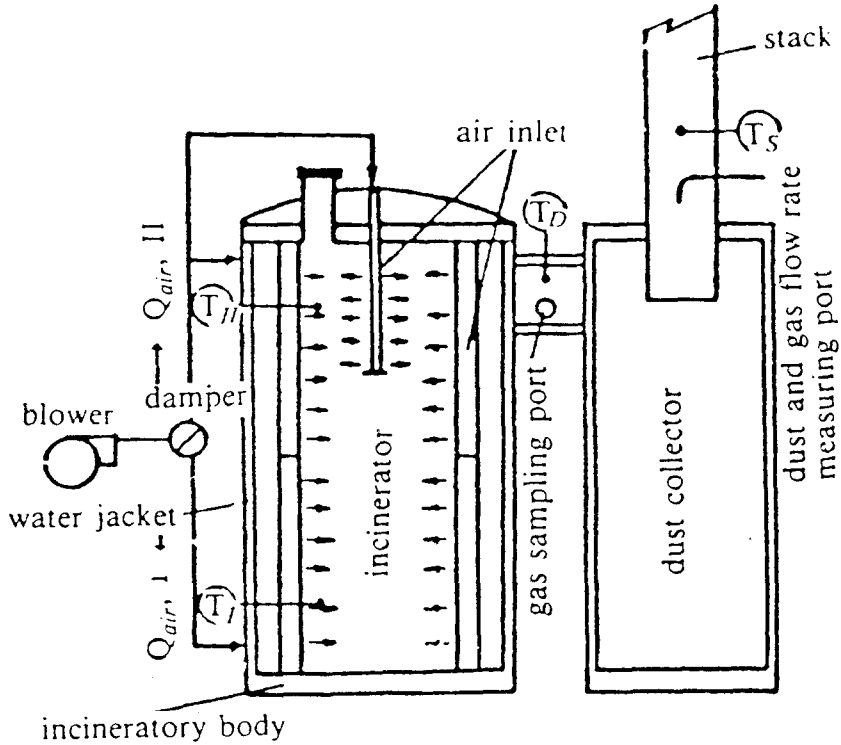


Fig. A sketch of the single-chamber controlled-air incinerator.

연소 배가스는 duct를 통하여 오른쪽의 원심집진기 (원통형 cyclone 구조)로 유입된 후 굴뚝을 통하여 대기로 방출된다. 또한 소각로, duct 및 원심집진기 외벽은 water jacket을 설치하여 발생되는 폐열을 회수하여 온수로 사용하도록 되어 있다.

연소실험은 50 kg/hr급의 소각로를 대상으로 이루어졌으며 주로 페타이어를 태우도록 설계되어 있다. 타이어, 신발밑창, 폴리에틸렌, 열경화성 플라스틱, 부직포를 대상으로 연소실험을 하였다. 페타이어와 열경화성 플라스틱을 제외한 폐기물을 소각할 경우에는 배기가스중의 분진의 함량이 기준을 초과하여 추가의 배기가스 처리설비가 필요함을 알 수 있었다. (표 1.)

따라서 100 kg/hr 규모의 소각로에서는 배기가스를 2차연소실과 보일러, 사이클론, 멀티사이클론과 물분사 냉각공정을 거친 다음 습식세정 후 다시 사이클론을 거쳐서 습식세정탑에서 동반되는 수분과 분진을 제거한 후에 연돌로 나가게 공정을 배열, 설치하여 연소실험을 하였다. 이러한 배기가스처리 방식의 도입으로 분진이 많이 나오는 폐유결래의 소각시에도 분진의 발생량을 기준치 이하로 줄일 수 있었다. (표 2.)

표 1. 50 kg/hr급 소각로 배기가스와 분진의 농도

Waste	O <sub>2</sub> %	CO ppm	H <sub>2</sub> O mg/ℓ	NO <sub>x</sub> ppm	SO <sub>2</sub> ppm	Cl <sub>2</sub> ppm	Dust mg/Sm <sup>3</sup>
Tire	11.2	80	3	237	139	0	10
Shoes scrap	18.5	320	3	56	23.3	0.5	1930
Nonwoven fabric	10.1	32	4.5	108	18	1	1421
Polyethylene	12.7	170	7	247	15	0	4095
Thermosetting plastics	7.6	80	8	320	0	0	77

표 2. 100 kg/hr 급 소각로에서 폐유질레 소각시 연돌에서의 측정치

측정가스 폐기물	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	HCl (ppm)	분진 (mg/m <sup>3</sup> )	매연
기름질레 합성수지등	6-8	13-15	50-70	110- 150	0 - 4	0 - 2	16.4 (평균)	1도 이하
허용기준 '94년 말까지	--	--	600*	200	300*	80*	200*	2도 이하

\*: 표준산소농도 12 % 기준

이러한 연구로 400 - 3000 kg/hr 급의 소각로가 현재 설치되어서 운전중에 있다. 포장용 폐폴리프로필렌등을 소각하는 처리용량 400 kg/hr의 소각로에서 배기가스중의 CO함량이 600 - 1300 ppm으로 많고 분진함량이 128 - 198 mg/Sm<sup>3</sup>으로 많았는데, 이 경우 2차 연소실의 확대 및 구조변경하여 개선하였다. 소각로 본체로서 가장 큰 것은 기당 1.5ton/hr 규모로 2개를 병렬로 설치한 3 ton/hr의 소각로가 운전중이다. 소각로 운전시 규모의 확대에 따라서 소각로 연소실에서의 공기 주입위치가 실제 폐기물에서 멀어지는 경향이 있어서 공기주입부분의 개선이 필요함을 알게 되었으며, 본 소각방식에 의해서는 더이상의 규모확대는 쉽지 않으리라고 사료된다.

- 결 론 -

1. 본 반건류식 공기제어 소각로는 연소실에서 폐기물 투입후에 온도를 연속적으로 측정하여서 적정 온도로 떨어진 다음에 폐기물을 투입하는 방법으로 연속 투입 운전이 가능하다.
2. 회분식으로 운전시에는 상부와 하부의 온도변화로부터 온도의 교차점이 있으며 이에 따라서 연소속도의 측정이 가능하다.
3. 반건류식 운전으로 소각로에서 분진의 발생을 억제함으로써 분진이 많이 발생하는 폐기물에 대해서도 포대여과기를 사용하지 않고도 분진배출기준을 만족시킬 수 있다.
4. 현재 시간당 3톤급의 소각로 까지 규모확대가 가능하였으나 규모확대시에는 공기투입방법의 개선이 필요하다.