

## 노즐 화격자 방식 산업폐기물 소각로의 설계 및 성능평가

이승우, 한승관, 이경태, 정종수\*, 이교우\*, 이성준\*

주식회사 모던텍

\*한국과학기술연구원(KIST)

### I. 서론

유동노즐 화격자 소각 시스템은 독일 Bio-Energieanlagen AM GmbH로부터 도입한 기본 기술을 바탕으로 한국과학기술연구원(KIST)의 폐기물 연소 경험<sup>1, 2)</sup>과 중소기업 애로기술 지원사업의 참여기업으로 선정된 (주)모던텍의 현장기술로 건설된 50톤/일 규모의 중형급 소각 설비이다. 본 소각설비는 폐합성수지 및 폐합성고분자 화합물 등의 고발열량 산업폐기물과 슬러지상 및 액상 폐기물 등 다양한 성상의 폐기물의 혼합소각에 적합한 설비로서 기존의 금속 화격자상 소각로에서 문제가 되는 화격자 틈새로의 용융물 낙하와 틈새 재의 발생을 방지할 수 있는 구조이며 고온과 부식성 가스에 대해 내구성이 강한 비금속성 화격자이다. 본 소각설비의 계단식 구조의 화격자는 건조, 연소, 후연소부로 구성되며 슬라이더를 이용하여 연속적으로 폐기물을 이송 및 교반하고 소각재의 연속 배출도 가능하다. 또한, 화격자 표면의 노즐과 로내 벽면, 2차 연소공기를 조절할 수 있는 공기공급장치는 연소실 내에서 미연소가스의 완전혼합을 이룰 수 있도록 설계하였다.

본 연구에서는 천안시 소재 X사에 건설되어 2001년 2월부터 순조롭게 운영되고 있는 100 kg/h 용량의 유동노즐 화격자 소각로의 특징을 설명하고, 성능평가를 위한 시험소각을 통해 얻은 대상 폐기물의 연소특성 및 적정 운전범위, 운전효율 등을 산정한 결과를 소개하여 차후 scale-up을 위한 기초 설계자료와 생활폐기물 및 슬러지와 같은 고수분 폐기물의 적용을 위한 운전조건을 확인하는 자료로 활용하고자 한다.

### II. 실험장치 및 방법

#### 1. 연소설비

유동노즐 화격자를 적용한 소각설비는 연소가스 및 화염의 외부 유출을 막을 수 있는 구조의 유압식 램 푸셔(ram pusher)에 의해 소각물이 로 내의 건조단으로 투입되고 이송 슬라이더에 의해 연소단, 후연소단으로 이송되며 각 단의 단차에 의해 교반된다. 화격자 내부에는 일정한 간격으로 노즐이 삽입되어 있어 고온(300℃이상), 고압(노즐 분출속도 30 m/sec ~ 150 m/sec)의 연소공기를 공급할 수 있어서 화격자 상부에서 준 유동상태를 유지하며 폐기물의 건조 및 연소, 후연소가 이루어진다. 연소가스는 폐열회수 보일러와 공냉식 열교환기에 의해 냉각된 후, 소석회 및 활성탄을 분사하는 건식 반응탑 내에서 산성가스를 중화하고, 여과집진기로 분진을 제거하는 배기가스 처리설비를 갖추고 있다. 본 노즐화격자방식 소각로의 가장 큰 특징은 가스·공기 열교환기를 통해 약 300℃이상으로 가열된 연소공기를 유동노즐을 통해 고속으로 분사함으로써(under fire air) 폐기물의 준 유동상태를 유도하여 폐기물의 건조 및 연소속도를 촉진시키며 고수분 폐기물의 소각에 충분한 효과를 발휘할 수 있

[연락처] (우) 407-052 인천광역시 계양구 계산동 935-6 북인천사옥 4층, 주식회사 모던텍

이승우, Tel: 032-546-1687, Fax: 032-544-3743, e-mail: w3master@mtc111.co.kr

고 연소실 내부의 벽면에서도 연소공기를 공급(Over fire air)하여 화염의 난류도를 증가시켜 완전연소를 유도한다는 것이다. 또한, 미연가스는 로 상부의 2차버너와 2차공기 투입(secondary air)으로 완전연소가 이루어지도록 하였다. 연소공기의 공급 비율은 화염의 형성 및 난류도에 큰 영향을 미치며 Table 1의 공기 공급 비율은 화염의 상태와 완전연소의 달성 여부를 감안하여 실험적으로 결정된 것이다.

Table 1. Design Parameters for Pilot plant

Item	Specifics	Remark
Capacity	100 kg/h	
Incinerator Size	2490W×7200L×11585H	
Volume of first combustion chamber	4.3 m <sup>3</sup>	
Volume of second combustion chamber	4.4 m <sup>3</sup>	Vertical cylinder type
Load of heat capacity	170,000 kcal/m <sup>3</sup> ·h	Practice(230,000 kcal/m <sup>3</sup> ·h)
Load of grate area	150 kg/m <sup>2</sup> ·h	Practice(170 kg/m <sup>2</sup> ·h)
Grate area	1.07 m <sup>2</sup>	Dry zone (0.22), Combustion zone (0.37) Post-combustion zone (0.22)
Blower	1st F.D 20 Nm <sup>3</sup> /min 2nd F.D 15 Nm <sup>3</sup> /min I.D 100 Nm <sup>3</sup> /min	underfire air 17.38 Nm <sup>3</sup> /min over fire air 8.69 Nm <sup>3</sup> /min secondary air 2.90 Nm <sup>3</sup> /min

## 2. 대상폐기물

본 실험의 연소대상 폐기물은 합성피혁공장에서 배출되는 것으로 주로 폐합성피혁류와 합성천, 부직포, 폐합성 수지류 등이며 일부 사업장 일반폐기물이 포함되어 있다. 대상폐기물의 종류별 구성비는 폐합성피혁(35%), 폐합성수지(30%), 폐합성섬유(20%), 사업장 일반폐기물(15%)이며 주요 대상 폐기물의 발열량과 삼성분 분석결과를 볼 때 고질의 폐기물임을 알 수 있다.<sup>3, 4)</sup> Table 2는 대상폐기물의 삼성분과 발열량 분석한 결과이다.

Table 2. Proximate analysis and lower calorific values of waste samples.

Waste	Proximate analysis, wt %				Lower calorific value (kcal/kg)
	Moisture	Volat. matter	Fixed carbon	Ash	
Synthetic leather	1.80	81.11	11.62	5.4	5,815
Fabric	1.20	81.60	14.26	2.94	5,680
Synthetic leather powder	4.05	80.76	7.88	7.3	5,708
Synthetic fiber	0.55	88.36	11.92	-0.82	5,441
Coating paper	8.03	81.39	7.33	8.25	4,551

## 3. 시험소각

합성피혁류는 부직포 또는 합성천에 합성수지류를 도포한 것이므로 다량의 폐기물을 한꺼번에 투입할 경우 연소초기 불완전연소로 인하여 검댕(soot)과 일산화탄소가 다량 발생할 수 있어 적절히 투입량을 조절할 필요가 있다. 따라서, 본 실험에서도 폐기물을 선별하여 4 - 8 kg의 폐기물을 일정한

시간간격으로 로 내에 투입하여 소각로 내부의 온도와 CO 농도의 변화를 관찰하여 완전연소 여부를 판단하였다. 또한, 연소후 바닥재 및 비산재를 채취하여 공정시험법에 따라 강열감량 시험을 통해 소각로의 연소특성을 파악해 보았으며 투입된 폐기물의 연소시간과 중량을 환산하여 폐기물의 연소율 (burning rate; kg/h)을 판단해 보았다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. 폐기물의 연소특성

본 사업장에서 배출되는 폐기물을 선별하여 4 - 8 kg의 단위로 소 포장하여 2분 - 3분 간격으로 폐기물을 연속투입하였다. 폐기물의 높은 발열량 때문에 연소온도는 폐기물의 투입 후 급격한 상승을 보였고 연소속도 또한 빠르게 진행되었다. Fig. 1은 폐기물 투입에 따른 온도변화를 나타낸 것으로 한번에 많은 양의 폐기물의 투입시에는 노내의 온도변화가 급격히 일어나므로 투입주기를 짧게 하고 적정량을 투입함으로써 안정한 연소를 유지할 수 있었다. 소각로 투입구의 특성상 폐기물 투입 댐퍼 (damper)가 열리고 램 푸셔(ram pusher)로 폐기물이 소각로 연소실 내로 들어가는 순간 소각로 내부의 음압이 깨지면서 고온의 로내 열에 의해 폐기물의 고분자계 물질들이 불완전 연소하여 CO의 농도가 급격히 상승하며 연소가 안정되면서 CO의 농도가 다시 현격히 줄어드는 것을 알 수 있다. (Fig 2) 이러한, CO의 발생은 대부분 고분자계 폐기물의 연소특성 중의 하나이며 기존의 연구결과에서도 나타나는 현상이다.<sup>5)</sup> 또한, 폐기물의 연소속도를 폐기물의 중량과 연소온도의 변화 폭에 대한 연소시간으로 환산해 볼 때 최대 약 180 kg/h 정도이었으며, 설계치에 비해 80% 이상 높으며 대상폐기물의 연소속도가 매우 빠른 것을 알 수 있었다. 시험소각 중 연돌에서 측정된 배기가스의 산소농도는 평균 11 - 13%의 범위를 보였으며, 완전연소시 공기비 계산공식  $21/(21-O_2)$ 에 적용할 때 공기비는 2.1 - 2.6 정도의 범위를 보였다.

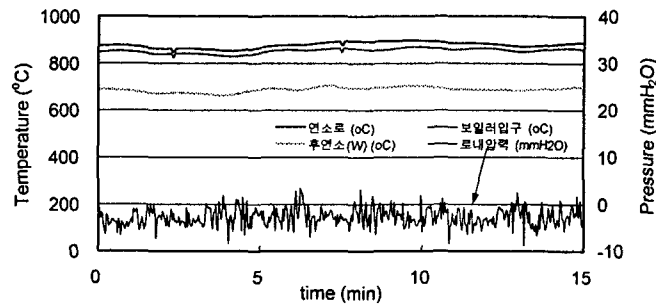


Fig. 1. Temperature profile in the burning chamber

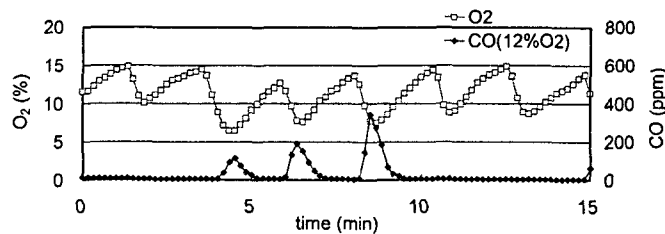


Fig. 2. Concentration of CO and O<sub>2</sub> during the test incineration

## 2. 연소효율 및 노즐화격자의 특성

폐기물의 연소 후 소각로의 연소효율을 측정하기 위해 바닥재를 채워하여 공정시험법에 따라 강열감량 시험을 하였고 3회 측정한 평균 강열감량은 1.84%로 소각로의 성능평가 기준인 10%를 충분히 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한, 폐기물의 연소가 끝난 후 소각로 내부를 관찰한 결과 당초 우려하였던 문제인 노즐 내부로 연소 재가 낙하하는 문제는 나타나지 않았으며 노즐의 빠른 유속과 세라믹 내화재가 갖고 있는 축열에 의해 고분자계 성분이 화격자 표면과 노즐 출구부근에 달라붙는 등의 노즐막힘 현상도 관찰되지 않았다. 이 결과로부터 화격자의 틈새가 없는 일체형의 유동노즐 화격자가 구조적인 장점이 있다는 것을 확인할 수 있었으며 일반적으로 적용에 다소 문제가 있는 것으로 여겨졌던 고탄수율의 소각물이나 겔, 슬러지상 폐기물, 용융 응축성 폐기물, 액상폐기물 등의 혼합소각도 가능할 것으로 생각된다. 그러나, 슬라이더가 도달하지 않는 연소단의 끝 부분에 연소 잔재물들이 모여 계속적인 열축적으로 인해 Slag 형태로 용융되어 화격자 선단부 수직면에 흘러 응착되는 현상이 나타났다. 이로 인해 내화재의 손상을 가져올 수 있으므로 슬라이더의 이송거리를 화격자 끝 부분에 도달하도록 증가시켜 연소 잔재물들을 후연소단 및 재반출 호퍼로 이송할 필요가 있다.

## IV. 결 론

합성피혁 공장에서 배출되는 폐기물은 고분자계 수지류를 함유하고 있으므로 많은 양의 폐기물을 일시에 투입하여 소각하면 CO 및 검댕(soot) 등의 미연분을 배출하는 문제가 있으며 이의 해결을 위해 투입간격을 짧게 하고 폐기물을 6 - 8 kg으로 나누어 투입하는 준연속식 연소가 바람직하다. 또한, 폐기물 구성비를 감안한 평균 저위발열량은 5,700 kcal/kg 정도로 2차연소실 출구의 온도 기준인 850°C를 충분히 유지할 수 있었으며 소각용량 170 kg/h를 감안할 때 소각로의 열부하량은 약 230,000 kcal/m<sup>3</sup>·h로 생활폐기물 또는 슬러지 등과 같은 고수분 폐기물의 혼합소각에도 적용이 가능하리라 판단된다. 또한, 시험소각에서 나타난 문제점인 화격자 수직면의 slag 응착 문제해결을 위한 슬라이더의 이동 거리조절과 현재 전체 투입 공기량의 약 10%인 2차공기량을 증가시키는 등 설계를 개선하면 보다 안정된 소각을 할 수 있으리라 판단된다.

## 참고문헌

1. 정종수, 이교우, 이춘식, Oliver Kautz, Jochen Seier: 노즐 화격자 상에서의 고탄수 폐기물의 소각 실험(I), 한국폐기물학회, Vol. 17, No. 6, pp. 734-740, 2000.
2. Lee, C. S et al.: Entwicklung einer kleinen bis mittelgrossen Hausmuell-verbrennungsanlage, KIST Europe Forschungsgesellschaft mbH, 1999
3. LaGrega M. D., Buckingham P. L., Evans J. C.: Hazardous Waste Management, McGraw-Hill, Inc., 1994.
4. 이성준, 이건주, 심범보, 서용철: 매립지와 소각시설의 설치시 생활폐기물에 관한 특성조사, 한국폐기물학회, Vol. 15, No. 5, pp. 548-556, 1998
5. 서용철, 김인태, 안병길, 김준형: 단일 연소실 공기제어 소각로의 특성연구, 한국폐기물학회, Vol. 6, No. 2, pp. 129-135, 1989.