

# 사업장폐기물의 순산소 소각기술

한인호, 최광호, 정진우

## Polymer Waste Incineration by Oxygen Enriched Combustion

In-ho Han, Kwang-ho Choi, jin-woo Choung

**Key Words:** oxygen enriched air; oxygen enriched incineration; polymer waste; rotary kiln incinerator

### Abstract

Oxygen enriched incineration can increase the incineration capacity for wastes and dramatically reduce air pollutant emissions such as CO and dioxine by the allowing complete combustion of wastes in incinerator. Furthermore, this technology is proven to have many benefits including an energy-saving, cost-effective, and versatile application for diverse wastes compared with the conventional air incineration technology. The reduced pollutant emissions in flue gas and higher incineration efficiency are also available when the oxygen enriched air is used for the high temperature incineration systems. On the basis of the experimental results the oxygen enrichment system is successfully applied to the rotary kiln incinerator for industrial wastes. The oxygen enriched incineration system could be allowed more compact design of incinerator and flue gas treatment system due to both increasing incineration capacity and reducing flue gas volume. Therefore, oxygen enriched incineration technology is becoming highlighted in the waste incinerator which strongly require more stable efficiency and environmentally friendly and safe operation.

### 1. 서 론

폐기물의 소각처리는 크게 두 가지의 목적을 가지고 있다. 첫째는 폐기물의 환경오염유발을 억제하기 위해 부피와 중량을 감소시키는 동시에 폐기물 자체

가 지닌 유해성을 고온에서 소멸시키는 것이다. 둘째는 폐기물중의 휘발성물질을 연소시켜 열량을 회수하여 에너지로 활용하고자 하는 것이다.

사업장폐기물중 고분자물질(합성수지, 합성섬유, 합성고무)과 같은 비금속재료는 경량성, 강도, 가공성의 향상으로 인

해 그 사용량이 해마다 증가하고 있으며, 앞으로도 지속적인 증가가 예상된다. 그러나 이러한 폐플라스틱류들은 그 난분해성으로 인해 특별한 처리방법을 필요로 하기 때문에, 근본적으로 재생을 통한 재활용이 가장 바람직한 방안이나 경제적, 기술적으로 많은 문제점을 가지고 있다. 그러므로 2차오염의 우려는 있지만 유류에 버금가는 높은 발열량을 가지고 있는 고분자폐기물은 감량화와 폐열회수의 2중 효과를 얻을 수 있는 소각이 가장 효율적인 처리방법 중의 하나이다.

그러나 이러한 고분자폐기물의 소각처리시 발생되는 여러 가지 공해물질의 저감 또는 처리방안이 우선하여야 한다는 것이다. 이러한 측면에서 폐플라스틱의 직접소각은 여러 가지 문제점들을 가지고 있다. 즉, 빠른 분해로 인하여 발생하는 연소성가스를 원활히 처리하기 위해서는 고속의 공기분사를 필요로 한다. 그러나 이러한 고속의 공기분사는 소각로내에서 국부적인 고온대를 발생시킬 수 있으며, 또한 비산분진의 발생을 증가시킨다. 이러한 직접소각방식은 CO, NO<sub>x</sub>, 분진등의 공해물질의 발생량을 환경기준이하로 제어하기가 어렵다.

선진국에서도 더 나은 환경개선을 위해 새로운 소각기술에 대한 연구성과들

을 상용화시키고 있는데, 고온열분해, 플라즈마, 산소소각등은 주목할 만한 소각의 신기술들이다. 이중에서 산소(산소부화공기) 소각기술은 소각로내 완전연소를 유도하여 소각용량을 대폭 증대시킬 수 있으며, CO, DIOXIN 등의 공해물질을 대폭 저감시킬수 있는 에너지 절약형 소각기술이라는 면에서 다양한 대상폐기물에 대한 적용확대가 기대되는 소각기술로서 고온열분해공정에도 산소를 적용하여 오염물질의 저감이나 높은 소각효율을 얻는다는 것은 입증된 공정으로 인식되고 있다

## 2. 고분자폐기물

### 2.1 고분자폐기물의 처리방안

고분자폐기물의 대부분은 매립, 소각, 재활용되고 있으나 여러 가지 문제점으로 인하여 완벽한 처리기술은 확보되지 않은 실정이다. 또한 합성고분자폐기물은 매립시 썩지 않으며, 매립지의 부족, 토양오염 또는 침출수 등으로 인하여 환경오염의 원인이 되고 있으며, 소각처리는 배출되는 유해가스에 의한 2차 환경오염의 문제시 된다. 또한 재활용에 있어서는 주로 열가소성 수지를 대상으로 단순재생과 복합재생으로 나누어 볼 수 있으나 단순재생은 양질의 폐플라스틱을

대상으로 하여야 하며, 복합재생은 낮은 용도로서 폐플라스틱 혼합물을 처리 사용하는 것으로서 사용후 다시 폐기물로 되기 때문에 궁극적인 처리방법은 되지 못한다.

고분자폐기물은 연소시 높은 발열량을 가지므로 소각함으로써 에너지를 회수하는 방법이 가장 효율적인 처리방법이라 하겠다.

표 1. 고분자폐기물의 처리방법 비교

처리 방법	장 점	단 점
소각	*위생적 처리 *생물학적 안전성 *열회수 *부피 감소	*대기오염물질 발생 *설치비 및 운영비 높음
열분해 /가스화 /액화	*위생적 처리 *생물학적 안전성 *물질 및 열회수 *부피 감소 *독성가스의 발생 없음	*고도의 기술 필요 *설치비 및 운영비 높음
자원 재 활용	*낮은 비용 *폐기물 재사용	*고도기술 필요 *위생처리 불가능 *시장성 문제
매립	*낮은 비용 *간편한 기술 *대량처리 가능	*부지선정 문제 *침출수 발생 *매립층의 불안정

## 2.2 고분자폐기물의 연소특성

고분자폐기물은 종류에 따라서 다르지만 약 200°C부터 열분해가 일어나며, 소

각시 다음과 같은 특징을 가진다.

첫째, 급격한 열분해로 인해 가스화된 미연분들이 산소와 반응도 하기전에 연소실을 빠져나가 불완전연소를 일으키며 둘째, 로내에 투입직후 몇초이내에 분해됨으로써 로내에 산소부족현상을 자주 일으켜 불완전연소를 발생시킨다.

셋째, 높은 공기비로 인하여 배기가스량이 많아 보일러나 배기가스처리설비의 투자비가 높다.

넷째, 회분발생량은 일반쓰레기보다 적으나 소각재속에 다량의 중금속이 함유되어 있어 2차 오염의 우려가 크다.

다섯째, 연소시 용융 낙하하여 화격자, 공기취입노즐, 노상 가동부 등의 막힘현상을 유발한다.

여섯째, 용도에 따른 첨가물(난연제, 개질제), 안료, 총전재 등으로 인하여 연소가 힘들다.

## 3. 산소부화공기를 이용한 폐기물 소각

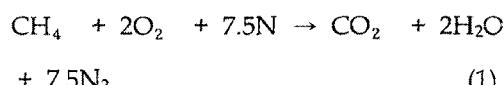
### 3.1. 산소부화공기의 특징

산소부화공기란 공기중의 산소와 질소를 분리하여 산소각 농축된 공기, 또는 순산소와 일반공기를 혼합하여 산소의

농도가 높은 공기를 말한다.

일반적인 소각공정은 식(1)에서처럼 일반공기를 사용하여 폐기물을 연소시킴으로써 로내온도를 일정하게 유지시키기 위해서는 부득이하게 산소의 약 4배에 해당하는 질소까지도 온도를 높혀야 한다. 그러나 산소부화공기를 적용하면 식(2)에서 보는 바와 같이 산소만 승온시키면 되므로 로내온도를 일정하게 유지시키기 위한 에너지사용량이 훨씬 줄어들게 된다. 또한 배가스의 발생량이 상당히 줄어들게 된다.

부가적으로 배가스량이 줄어들므로서 배가스의 체류시간이 증대하고 오염불질 배출 또한 줄어들게 된다.



연소공정에서 일반공기대신 산소부화공기를 적용하면 안정적인 소각이 가능하며 화염이 안정화되고 화염의 온도가 높아지는 특징이 있다.

산소부화에 의한 화염의 온도는 연소반응시 질소저감으로 인하여 상당히 증가된다. 일반적으로 화염온도는 낮은 산소부화농도 영역에서 산소농도가 1% 증

가함에 따라 대략 37°C 이상 증가한다.

표 2는 당량비에서 공기와 산소의 연료별 단열화염온도를 나타내며 그림2는 연소공기중의 산소농도에 따른 화염의 상태를 보여준다. 즉, 연소공기중의 산소농도가 증가함에 따라 화염이 밝게 빛나는 것을 볼 수 있다.

표 2. 이론공기량에서 각 연료별 화염온도

Fuel	Air ( K )	Oxygen ( K )
Acetylene	2600	3410
Carbon monoxide	2400	3220
Heptane	2290	3100
Hydrogen	2400	3080
Methane	2210	3030

단열화염온도는 이상 조건하에서 얻을 수 있는 최대 화염 온도이다. 산업용 베너화염의 실제 온도는 복사에 의한 열손실과 주위 낮은 로 가스와의 난류혼합에 기인하여 단열화염온도 보다 상당히 낮게된다. 따라서 단열화염온도는 단순히 얻을 수 있는 화염온도의 상한치를 제공한다.

### 3.2. 산소부화공기의 제조 방법

산소부화공기를 제조하기 위해 우선

공기중의 산소를 분리하여야 하는데 여기에는 심냉법(Cryogenic Air Separation)과 흡착분리법(Pressure Swing Adsorption) 그리고 막분리법(Membrane Separation)등이 있다.

심냉법은 가장 오래된 분리방법이면서도 현재에도 공기분리공정의 주류를 이루고 있으며, 대량생산에 유리하고 고순도의 산소를 얻을 수 있다. 흡착분리법은 장치가 간단하고 고순도의 산소가 요구되지 않는 공정을 중심으로 그 수요가 점차 늘어나고 있다. 공기분리공정중에서 가장 구조가 간단한 막분리법은 최근에 개발된 공정으로서 저순도의 산소를 제조하는데 주로 이용한다.

### 3.3. 산소부화공기에 따른 소각효과

폐기물을 소각할 때 산소부화공기를 사용하면 다음과 같은 장점이 있다.

- 더 높은 에너지 효율
- 연소효율 증가
- 폐기물 중 더 많은 가연 물질의 연소 (소각용량의 증대)
- 배기가스량의 저감
- 설치비 저감
- 배기가스 처리설비의 설비 축소
- 소각로 축소
- 운전비용 절감
- 보조연료 절감

- 증기 발생량 증가
- 처리량 증대
- 고형물의 처리비용 절감
- 오염물질발생량 저감
- 배가스 체류시간의 증대
- 반응성의 증대
- 분진발생량의 감소

## 4. 실험

### 4.1. 실험방식

소각실험에 사용된 폐기물의 특성은 아래와 같고, 각 실험조건에서 정상상태의 운전성능을 평가하기 위하여 각 조건별 3시간이상 3회 이상 반복실험 한 것을 결과로 정리하였다. 이때, 소각로의 정상적인 운전을 위하여 보조연료를 사용하여 내부온도를 700°C 이상 온도까지 승온 시킨 후 같은 종류의 폐기물을 1시간이상 소각 후 실험을 하였다.

### 4.2. 측정 및 분석방법

폐기물의 소각시 발생되는 대기오염물질 즉, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>를 측정 및 분석하기 위하여 AUSTRIA(오스트리아) SENSONIC2000, 5100 전기화학식 가스분석기 2기를 동시에 비교 분석하였다. 또한, 실험의 정확성을 더하기 위하여 로타리킬른 소각로의 PID제어를 통

하여 압력 및 기타 조건들의 오차를 최대한 줄였다.

### 4.3. 시료

폐기물은 입상과 분말의 2가지 형태로 되어있는 폐고무를 이용하였으며, 동일한 폐기물을 사용하기 위해 입상의 폐고무를 소각하였다. 입상의 폐고무는 속이 꽉 찬 통고무와 고무줄과 같은 형태의 것들을 골고루 투입하였다.

### 4.4 실험결과

#### 4.4.1 소각용량의 증대

산소부화공기는 다양한 분야의 산업용으로에서 처리량 증가를 위한 설비가 성공적으로 가동되고 있으며 10 - 20%의 생산량증가는 일반적으로 대부분의 루에서 산소농도를 약간 증가시킴으로써 가능하다.

그러므로 산소부화는 동일 연료공급에 대한 연소용산소 및 배기가스의 부피감소와 루에서 가능한 열의 증가에 기인하여 제약 받는 경우 가장 효율적이다.

그림 1은 폐고무를 산소부화공기를 주입하여 소각시켰을 때 소각가능한 용량을 보여주는 것으로서 연소공기중의

산소농도가 30% 정도일 때 소각용량이 약 40% 정도 증가되는 것을 볼 수 있다.

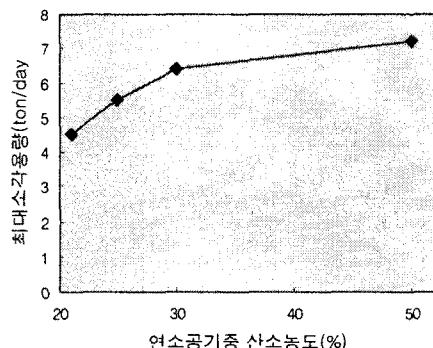


그림 1. 연소공기중의 산소농도에 따른 최대소각용량

#### 4.4.2 오염물질의 저감

고분자폐기물은 소각로에 공급될 때 일시적으로 산소가 부족하게 되는 현상이 발생되어 오염물질 발생을 야기한다. 이 일시적인 산소결핍 현상을 일반적으로 puffs라 하며 PICs (products of incomplete combustions)의 배출을 야기시킨다.

그러나 산소부화공기는 연소실 내에 산소분압을 높게 유지함으로써 일시적인 산소결핍 현상을 방지하여 오염물질의 배출을 저감시킬 수 있으며, 높은 루내 온도 및 연소효율의 증가로 인해 불완전 연소에 따른 오염물질의 발생을 현저히

줄일 수 있다.

그림 2는 폐고무를 소각시킬 때 산소부화공기를 사용한 실험결과로서 연소공기주의 산소농도가 증가할수록 발생되는 일산화탄소(CO)의 농도가 급격히 줄어드는 볼 수 있다.

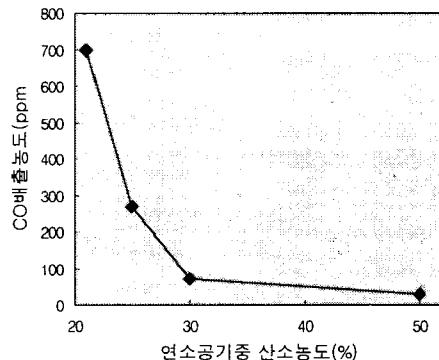


그림 2. 연소공기중의 산소농도에 따른 CO 발생량

#### 4.4.3 배가스 발생량의 저감

배가스량의 저감은 단위용적당 가스체류시간을 늘려 오염물질의 저감을 피할 수 있을 뿐만아니라 후처리설비의 용량을 줄일 수 있어 경제적인 효과도 동시에 볼 수 있다. 또한 연소효율의 증대 뿐만아니라 연소가스의 발생량을 줄여 배출속도를 낮게 함으로서 비산되는 분진의 양을 줄여준다. 그림 3은 동일한 가용열을 얻기 위한 조건에서 산소농도

에 따른 배가스 부피를 나타내는 실험결과인데 이론치와 측정치의 차이는 외부공기 유입에 따른 차이로 보여진다.

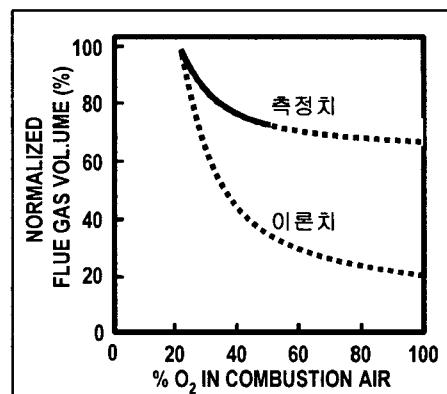


그림 3. 연소공기중의 산소농도에 따른 배출 가스량

## 5. 결론

산소부화공기를 이용한 폐기물 소각방식은 연소효율이 증대되어 소각용량이 늘어나는 안정적인 소각방식이며 일반공기 연소시에 불가피하게 투입되는 질소를 저감시킴으로써 배가스의 로내 체류시간 증가에 따른 대기오염물질을 대폭 줄일수 있는 소각방식이다. 또한 소각로 및 배가스처리설비의 용량을 줄일수 있고, 처리용량증대에 따른 설비투자비를 줄일 수 있어 경제적인 소각방식으로서 향후 다음의 분야에 적용이 기대되어진

다.

(1) 저발열량 폐기물

- 불량매립지 교정에 따른 굴착폐기물 처리
- 오염토양처리 및 슬러지 소각
- 소각재 용융처리

(2) 유해폐기물 소각

- 병원폐기물
- 저준위 방사성 폐기물
- PCB, VOC 처리 등

참고문헌

- Mixture", Water Management & Research, Vol11, 515-529, 1993
6. 최정욱, "폐플라스틱 열분해 연료화기술", 월간폐기물, pp66-71, 8, 1996
7. 김영성, 박영옥, "폐기물 열분해 반응 연구 (I)", 대체에너지기술개발 사업최종보고서, p44-47, 1989
8. 이광순, 박형상, "도시고형폐기물 열분해공정을 위한 기초연구", 동력자원부 대체에너지 기술개발사업, 최종보고서, pp18-21, 1991
9. A.Broido, J.Polym.Sci., A-2, 7, 1761, 1969
12. Brunner, C. R., "Hazardous Waste Incineration", McGraw-Hill Inc., 2nd edition, 1993
1. 편집부, "공해 없는 플라스틱개발을 위한 연구와 각국 환경기구의 움직임", 월간폐기물, p112-117, 6, 1993
2. 김석준, "전류식소각로", 한국화학공학회 산학협동강좌, pp8-1~8-18, 1995
3. 환경처, "특정폐기물 소각로 개발", pp20-24, 1996
4. 김석준, 심성훈, 길상인, "고분자폐기물의 열분해와 폐열이용", 월간폐기물, pp180-189, 3, 1993
5. Ja-Kong Koo, Seak-Wam Kim, "Reaction Kinetics Model for Optimal Pyrolysis of Plastic Waste