

소각로의 종류별 처리 기술

(5)

5. 열분해식 소각로

가. 개요

1) 방식

플라스틱, 고무, 셀룰로스 등의 유기물을 일정 온도 이상으로 가열하면 용이하게 분해되어 가스, 기름, 탄소를 함유한 잔류물질을 생성한다.

열분해 프로세스로는 플라스틱계와 도시쓰레기와 같이 혼합물계(플라스틱, 종이, 고무, 기타유기물)로 크게 분류한다.

가) 플라스틱계 열분해법

- (1) 용융욕식
- (2) 유동상식
- (3) 스크류식
- (4) 유통식
- (5) 접촉분해식

나) 혼합물계 열분해법

- (1) 2탑순환유동상식
- (2) 단탑유동상식
- (3) 입로식
- (4) 회전로식
- (5) 기류관식

열분해법의 하나의 예를 그림 23, 24에 나타냈다.

2) 특징

가) 소각하면 문제가 많은 폐플라스틱을 열분해하여 높은 수율의 기름 또는 가스 연료를 회수한다.

나) 염화비닐을 소각하는 경우

■ 환경관리공단 발행「폐기물소각처리실무」

에 생성하는 HCl은 열분해에서는 염산으로 회수한다.

3) 구조

로의 기본적 구조는 각각 소각용 로타리킬른, 유동로, 고온용유로와 같고 취급 및 기타 유의점은 다른 소각의 경우와 비슷하다.

4) 일반적인 적용분야

열분해방법도 소각방식과 비교해볼 때 장치적으로는 거의 같고 조작 조건만이 다르다. 열처리 가스가 산화상태(산소가 가스중에 남은 것)이면 소각이고 중성상태(산소가 거의 없이 CO₂, N₂, H₂O

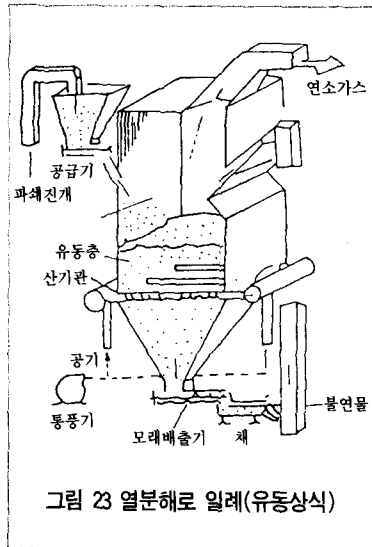


그림 23 열분해로 일례(유동상식)

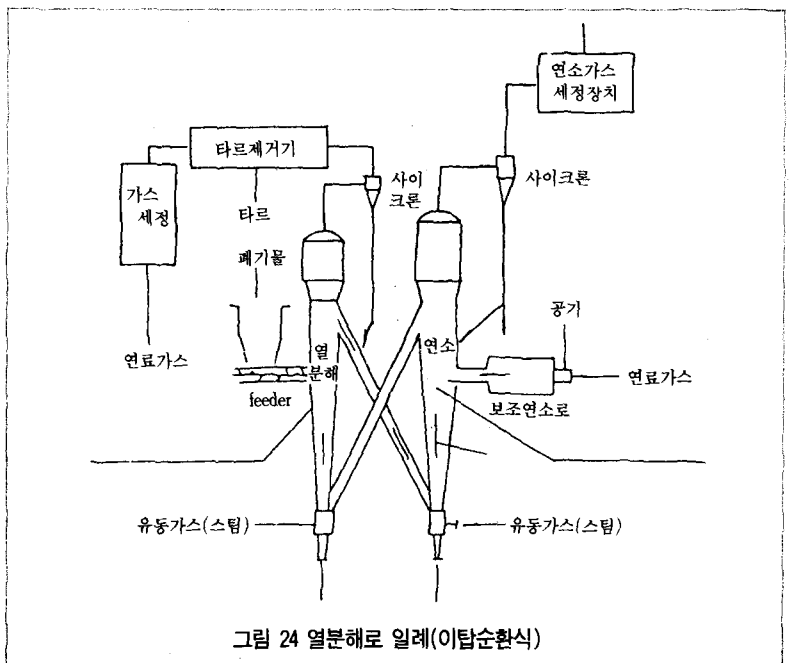


그림 24 열분해로 일례(이탑순환식)

만 있는 것), 환원상태(산소가 없고 N_2 , H_2 , CO_2 , 메탄, 에탄 등의 것)의 경우에는 열분해라 한다.

크롬을 함유한 슬러지 등을 열처리 할 때, 중성상태 또는 환원상태로 하면 크롬이 6가로 산화하지 않고 유기물의 분해 안정화가 이루어진다.

발열량이 높은 것을 소각하면 생성가스량이 증가하므로 연소용량이 큰 로가 필요하게 되어 비용이 높게 되지만 열분해에서는 생성가스량, 가열용량은 발열량에 관계없이 거의 일정하고 발열량이 높은 것은 기름의 생성량이 증가하고 가스의 칼로리가 높게되어 생성가스량은 일정하다. 따라서 크롬의 산화를 방지하기 위한 특별한 경우를 제외하고 경제면에서 높은 칼로리물질에 적용할 때가 많다.

또한 폐기물의 보유 에너지를 이용하는 일반적인 방법은 소각가스의 열량에서 스팀을 회수하지만 스팀으로는 사용이 곤란할 때 비교적 다목적으로 이용가능한 기름 또는 연료가스로 회수하기 위해 열분해를 한다.

원칙적으로는 소각 대상으로 되는 폐기물은 거의 열분해의 대상으로도 되지만 그 내용과 처리하는 장소에 따라 경제성을 고려하여 결정한다.

나. 설비성능 조건

1) 투입제한

가) 투입물의 크기 및 형상
각 공정에 따라 다르다. 각 공정에 투입가능한 크기로 파쇄한다.

나) 투입물의 물성

(1) 함유수분

폐기물에 함유된 수분은 가스화 효율을 낮추어 공정에서 배수로 되고 수처리 장치에 부담이 되므로 가능한한 탈수, 건조에 의해 적게 되도록 한다.

(2) 혼입물

열분해로가 로타리킬른, 입로 이외의 경우에는 철, 알루미늄 등의 금속은 장치내에서 폐쇄되기 쉬우므로 고장 요인이 되는 원인 물질을 사전에 제거하는 것이 일반적이다.

2) 처리물의 성상

① 분해가스

발열량 $526 \sim 6,9000 \text{kcal} / \text{Nm}^3$
(주성분 H_2 , CO , CO_2 , C_nH_m)

② 회수율

발열량 $2,930 \sim 11680 \text{kcal} / \text{kg}$

③ 잔사(차르)

발열량 $4,500 \sim 7,000 \text{kcal} / \text{kg}$

3) 처리능력범위

$30 \text{톤} / 24\text{h} \sim 200 \text{톤} / 24\text{h}$

4) 고장요인

가) 로타리킬른 및 입로방식이라는 철재류의 혼입에 의한 고장을 막기 위해 자선기를 설치하는 것이 좋다.

나) 타르나 왁스에 의한 장치의 폐쇄가 자주 발생하므로 장치의 설계시 충분히 배려한다.

5) 부대설비(열분야 프로세스의 구성)

가) 전처리 설비

폐플라스틱 등의 폐기물을 파쇄, 저류 또는 건조하는 장치로 필요하다.

나) 공급설비

폐기물을 연속하여 정량적으로 열분해로에 공급하는 장치가 필요하다.

다) 열분해로

폐기물을 열분해하여 분해가스, 기름, 잔사로 하는 것이 주요 장치이다.

라) 분해가스 처리설비

열분해로에서의 가스로부터 세진, 냉각하여 가스, 기름, 물로 분리하고 가스는 세정에 의해 유해성분이 제거된다. 가스는 계내에서 소비되든가 외부로 에너지로써 나간다.

마) 잔사연소설비

열분해로에서 잔사는 연소로에 의해 연소하고 열분해의 열원으로 된다.

연소재는 통상의 소각로와 같이 처리한다. 그러나 그렇지 않는 방식도 있다.

바) 연소가스 처리설비

소각로가스의 처리설비와 같다.

사) 폐수처리설비

분해가스 처리장치에서의 분리수, 세정수, 연소가스 처리장치에서의 세정수가 발생한다.

다. 안정운전 조건

1) 내열, 내마모, 내식

가) 사용하는 로와 같은 형식의 소각설비에 준한다.

나) 염화비닐을 열분해하면 HCl이 발생하므로 장치의 내식성에 주의한다.

2) 폭발방지

종이, 셀룰로스 등을 열분해하면 분해가스중에 폭발한계가 넓은 H_2 , CO 가 다량함유되어 있으므로 장치내에 공기가 침입하지 않도록 기밀을 유지한다.

3) 유지관리

사용하는 로와 같은 형식의 소각설비에 준한다.

라. 환경보전에 필요한 조건

전반적으로 사용하는 로와 같은 형식의 소각설비에 준하지만 특별한 것으로 가연가스가 있으므로 누출에 의한 공기흡입과 플라스틱의 종류에 따라서는 HCl을 배출시키므로 가스 누출은 충분히 주의해야 한다.

또 열분해에서 생성하는 기름, 물은 취가가 강하므로 이들을 저장하는 경우는 저류조를 밀폐한다.

마. 열분해 및 공기소각제어

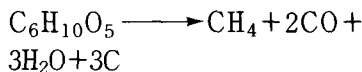
열분해는 산화 또는 연소와 관련있는 열공정이다. 여기서는 열분해의 메카니즘에 대한 것과 열분해를 이용한 장치 및 공기억제 반응들에 대해 알아보자.

1) 개요

열분해는 화학양론적 산소없이 열존재하에서 고체, 탄소질 등의 물질을 분해증류하는 것이다. 열분해는 흡열반응이다. 즉, 반응이 일어나도록 열을 공급해야 한다.

이상적으로 열분해 반응은 셀룰로오스를 이용하면 다음과 같이 일어난다.

heat



메탄(CH₄), 일산화탄소(CO) 및 수분을 포함하는 가스가 생성된다. 일산화탄소와 메탄은 발열량을 폐가스에 공급하면서 연소한다. 탄소잔여물인 숯 또한 발열량을 갖는다. 이것이 이상적인 반응이다. 산소는 전혀 첨가되지 않으며 최초의 물질은 순수한 셀룰로오스, C₆H₁₀O₅이다. 일반적으로 초기물질은 순수하지 않으며

표 4 도시폐기물 및 산업폐기물의 열분해로부터 얻은 생성물의 수율

Refuse	Yields, weight percent of waste							
	Pyrolysis temp.°F	Residue	Gas	Tar	Light oil in gas	Free ammonia	Liquor	Total
Raw municipal waste	930	9.3	26.7	2.2	0.5	0.05	55.8	94.6
	1380	11.5	23.7	1.2	0.9	0.03	55.0	92.3
	1650	7.7	39.5	0.2	0.0	0.03	47.8	95.2
Processed municipal waste	930	21.2	27.7	2.3	1.3	0.05	40.6	93.2
	1380	19.5	18.3	1.0	0.9	0.02	51.5	91.2
	1650	19.1	40.1	0.6	0.2	0.04	35.3	95.3
Industrial-sample A	930	36.1	23.7	1.9	0.5	0.05	31.6	93.9
	1380	37.5	22.8	0.7	0.9	0.03	30.6	92.5
	1650	38.8	29.4	0.2	0.6	0.04	21.8	90.8
Industrial-sample A	930	41.9	21.8	0.8	0.6	0.03	29.5	94.6
	1380	31.4	25.5	0.8	0.8	0.03	31.5	90.0
	1650	30.9	31.5	0.1	0.5	0.03	29.0	92.0

Refuse	Yields per ton of waste				
	Gas. (ft ³)	Tar. (gal)	Light Oil in gas (gal)	Liquor. (gal)	Ammonium sulfate. (lb)
Raw municipal waste	11,509	4.8	1.5	133.4	17.9
	9,628	2.6	2.5	131.6	23.7
	17,741	0.5	0.0	113.9	25.1
Processed municipal waste	11,545	5.6	3.7	96.7	16.2
	7,380	2.2	2.6	122.6	28.4
	18,058	1.4	0.6	97.4	31.5
Industrial-sample A	9,563	4.1	1.4	75.2	12.5
	9,760	1.5	2.6	73.0	19.5
	12,318	0.5	1.6	51.1	21.7
Industrial-sample B	9,270	1.7	1.6	70.2	20.4
	10,952	1.8	2.2	74.9	21.2
	14,065	0.02	1.4	68.5	22.9

유기 및 무기의 부가적인 성분들을 포함한다. 폐가스는 여러가지의 단순하거나 복잡한 유기화합물들의 혼합물이다. 종종 숯(Char)은 광물, 회분 및 잔류탄소나 타르뿐 아니라 무기물 등을 포함하는 유체이다.

산업공정에서 열분해는 수년간 이용되어 왔으며 1960년대말 이후로는 폐기물 분해에 이용되었다.

2) 열분해 생성물

열분해 반응은 연소할 수 있는 물질 및 탄소성분(Char)과 함께 폐가스를 생성한다. 그러나 실제로 공급원료 물질들은 복잡하므로 열분해공정으로부터 생성된 물질들 역시 복잡하고 다양하다. 반응 온도, 반응실의 압력, 반응실로 들어가는 공기 또는 산소양에 따라 반응생성물의 조성이 변할 것이다.

표 4에는 대표적인 고체 폐기물

의 열분해로부터의 생성물 수율을 나타냈다. 이런 특수장치의 경우 폐기물 체류시간은 12~15min이고 연소실 온도는 510~900°C이다. 처리된 도시 폐기물은 대부분 유리와 금속 함유물 등이다. 생성된 타르(Tar)와 또 다른 생성물들은 낮은 온도에서 많이 생성되는 반면 폐가스는 보다 높은 온도에서 수율이 가장 많은 것을 표에서 알 수 있다.

이런 반응에서 생성된 가스는 약 2,670~3,560Kcal/m³의 발열량을 갖는다. 폐기물공급원료 중의 질소성분으로부터 암모니아가 생성되며 이러한 암모니아의 대부분은 폐기물 중의 황과 결합하여 황산암모늄((NH₄)₂SO₂)을 생산한다.

표 5에서는 고체잔류물의 조성 및 잔류물의 발열량을 표 4의 공정과 비교하여 나타내었다.

표 5 도시폐기물 및 산업폐기물의 열분해에 의한 고체잔류물의 화학분석

Refuse	Proximate(%)				
	Pyrolysis temp., F	Moisture	Volatile matter	Fixed carbon	Ash
Raw Municipal Waste	930	2.6	4.4	29.6	66.0
	1380	2.2	7.4	51.4	41.2
	1650	1.0	4.7	31.7	63.6
Processed Municipal Waste	930	1.7	4.8	56.7	38.5
	1380	1.3	13.4	34.6	52.0
	1650	1.2	3.3	53.5	43.2
Industrial-Sample A	930	0.9	2.6	15.2	82.2
	1380	1.2	5.1	17.9	77.0
	1650	0.1	2.5	12.9	84.6
Industrial-Sample B	930	0.3	3.0	9.7	87.3
	1380	1.0	3.6	16.6	79.8
	1650	0.2	6.4	16.2	77.4

Refuse	Ultimate(%)						
	Hydrogen	Carbon	Nitrogen	Oxygen	Sulfur	Heating Value BTU/lb ^B	MBTU /ton
Raw Municipal Waste	0.4	32.4	0.5	0.5	0.2	5020	10.04
	0.8	54.9	1.1	1.8	0.2	8020	16.04
	0.3	36.1	0.5	0.0	0.2	5260	10.52
Processed Municipal Waste	0.6	57.7	0.8	2.1	0.3	8800	17.60
	0.8	41.9	0.8	4.4	0.1	6080	12.16
	0.5	53.4	0.7	1.8	0.4	8090	16.18
Industrial-Sample A	0.3	17.0	0.1	0.2	0.2	2520	5.04
	0.5	19.4	0.2	1.8	0.2	2900	5.08
	0.3	14.8	0.2	0.0	0.2	2180	4.36
Industrial-Sample B	0.2	11.8	0.1	0.4	0.2	1660	3.32
	0.3	19.5	0.2	0.0	0.2	2680	5.36
	0.4	19.3	0.3	2.4	0.2	2810	5.62

표 6에서는 여러 반응온도에서의 일반적인 폐가스 조성을 나타내었다. 이러한 가스는 연소를 유지하도록 충분한 발열량을 가지며 그 가스는 저등급 연료로 이용될 수 있다. 그것은 입자상 물질 및 유기산과 같은 미량의 오염물을 포함한다. 따라서 열분해 가스를 사용하기 전에 이러한 성분들은 제거되어야 한다. 일반적으로 열분해가스는 열분해 시스템의 후연소기에 사용된다.

표 6 열분해 가스 조성

구 분	Pyrolytic temperature, F			
	900	1200	1500	1700
Gas composition(Vol%)				
Carbon monoxide	33.6	30.5	34.1	35.3
Carbon dioxide	44.8	31.8	20.6	18.3
Hydrogen	5.6	16.5	28.6	32.4
Methane	12.5	15.9	13.7	10.5
Ethane	3.0	3.1	0.8	1.1
Ethylene	0.5	2.2	2.2	2.4
Heating value(HHV), BTU/st ft ³	312	403	392	385

3) 열분해 시스템

그림 25에서는 혼합폐기물 처리를 위해 필요한 이상적인 열분해 시스템을 나타냈다. 반입폐기물 중 유리, 금속, 판지 등을 재이용할 수 있도록 분리수집된 후, 폐기물은 절단기에서 일정 크기로 분쇄되며 이 물질들 중 재이용할 수 있는 잔류철금속을 분리회수하는 자력분리기를 통과한다.

나머지 폐기물은 공급물 호퍼에서 반응기로 보내진다. 호퍼 배출구와 공급기에는 열분해 반응에 방해가 될 수 있는 공기유입을 최소화하도록 공기 잠금장치를 설치해야 한다.

금속류를 제거하기 위해서 뿐만

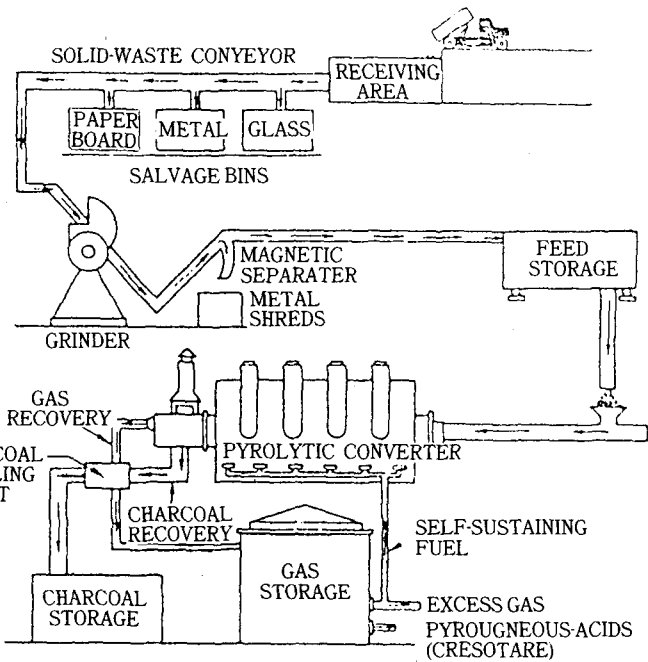


그림 25 열분해에 의한 폐기물의 전환

다. 이것은 순산소이기 때문에 이름이 Purox이다. 산소는 폐기물의 일부와 반응하여 열분해 공정을 유지하는 데 필요한 열을 생산한다. 연소에 의해 생성된 가열된 가스는 폐기물층을 통과하면서 위로 상승하고 더운 가스가 냉각되면서 폐기물을 열분해하는 것이다. 반응기 윗부분에서 더운 가스는 들어오는 물질을 말리면서 더 냉각된다.

로를 떠나는 폐가스는 비교적 깨끗하고 보통 약 90°C의 온도로서, 그리고 2670Kcal/m³의 발열량을 갖는다. 공기 대신 산소를 사용함으로써 회석작용을 하는 질소가 없기 때문에 더 높은 발열량을 얻을 수 있고 또한 배출가스에서 질소산화물 발생을 제거할 수 있다.

아니라 반응기에 꽤 작은 균일한 크기의 공급물을 제공하기 위해서도 절단은 반드시 필요한 단계이다.

반응기는 그림에서 보는 바와 같이 외부에서 가열되는 형식이다. 다른 형태의 열분해 반응기는 충분한 공기를 투입하여 반응기 안에서 열분해 공정을 유지하는데 필요한 충분한 열을 내부에서 발생시키는 방법으로 설계하기도 한다.

반응기에서 발생하는 가스는 유기산 및 다른 유기화합물들이 응축하여 저장탱크로 모인다. 30~40%의 가스는 열분해 반응기를 가열하는데 이용되고 나머지는 다른 공정에 이용될 수 있다. 폐가스 발열량 중 상당부분은 응축에 이용된다. 만약 가스가 가열되고 배출

된 차르(Char)잔류물이 냉각되면 응축물은 가스상태로 남게될 것이다.

따라서 가스로부터의 에너지를 최대한로 재이용하는 경우에는 가스를 가능한한 오랫동안 가열된 상태로 유지하는 것이 중요하다.

잔류고체물질은 목탄(charcoal)이라 부른다.

굴뚝은 반응기 후단부에 설치된다.

4) Purox와 Torrax

유니온 카바이드사는 폐기물 및 다른 혼합고체폐기물을 분해하기 위해 그림 26에 나타난 것과 같은 열분해 반응기를 개발했다. 이 시스템은 반응기 상부로부터 폐기물이 공급되며 반응기는 내화재로 만든 수직형 연소기이다.

산소는 반응기 하부에서 공급된

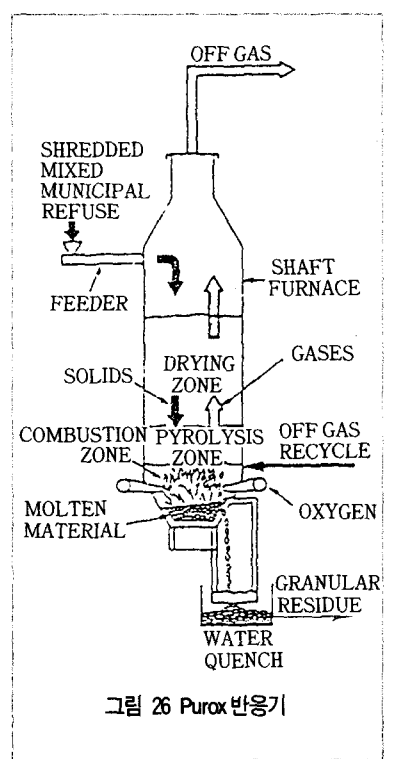


그림 26 Purox 반응기

표 7 Purox 고체 잔류물

조 성	무 계(%)
FeO	9.0
Fe ₂ O ₃	1.7
MnO	0.7
SiO ₂	63.1
CaCO ₃	1.6
CaO	13.7
Al ₂ O ₃	9.2
TiO ₂	0.1

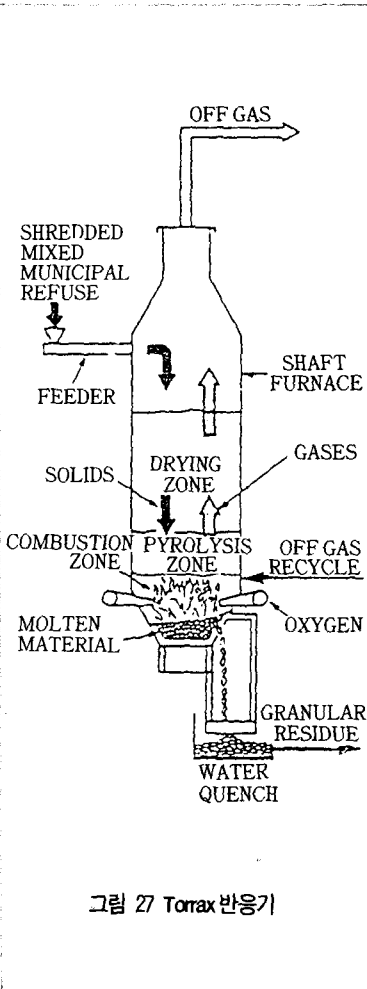


그림 27 Torrax 반응기

폐가스의 에너지는 보통 폐기물의 열에너지의 약 80%에 해당한다. 이 열분해 공정으로부터 생긴 잔류물은 수조에서 급냉되며 낱알 환경관리인. 1995. 3

모양이 된다. 그것은 뜨거운 용융 상태를 거쳤기 때문에 살균되고 어떠한 생물학적 활성물질도 가지고 있지 않다. 또한 이 공정에 포함된 연소반응 때문에 그것은 표 7에 타난낸 것처럼 꽤 작은 탄소잔류물을 포함한다. 고체잔류물의 부피는 이 반응기에 공급되는 폐기물 부피의 2~3%이다. 이러한 반응기는 200ton/day 단위의 규모로 계획된다.

고체폐기물을 열분해 하기 위한 Torrax(전체 환원) 시스템은 원래 카보런덤사에 의해 개발되었으며 Andco 및 Andco-Torrax system으로 시판되었다. 그 반응기는 그림 27에 나타내었다.

표 8 Torrax 고체 잔류물

조 성	대표치(w%)	범 위(%)
SiO ₂	45.0	32.0-58.0
Al ₂ O ₃	10.0	5.5-11.0
Si ₂ O ₃	0.8	0.5-1.3
TiO ₂	10.0	0.5-22.0
Fe ₂ O ₃	15.0	11.0-21.0
FeO	2.0	1.8-3.3
CaCO ₃	1.1	0-1.5
CaO	8.0	4.8-12.1
MnO	0.6	0.2-1.0
Na ₂ O	6.0	4.0-8.6
K ₂ O	0.7	0.4-1.1
Cr ₂ O ₃	0.5	0.1-1.7
CuO	0.2	0.1-0.3
ZnO	0.1	0-0.0
입자밀도	2,798kg/m ³	
잔류물 밀도	1,399kg/m ³	
스크린사이즈	4% 30mesh	
	2% 30mesh	

대상폐기물을 파쇄하거나 분류하지 않으며, 폐기물은 반응기 상부에서 공급되며 폐기물 중량과 조밀성에 의해서, 가스가 투입되

는 폐기물층을 통과하지 못하도록 플럭(floc)을 형성한다.

공기는 열분해 공정을 안정하게 유지하기 위해 폐기물의 충분한 연소를 촉진시키도록 반응기 하부에서 공급된다. 가스는 반응기를 통해 위로 상승하며 먼저 투입되어 가열된 폐기물을 열분해하며, 계속적으로 투입되는 폐기물을 건조시키면서 폐기물 플럭 바로 밑에서 반응기를 빠져나간다.

가스는 430~540°C의 범위의 온도에서 반응기를 떠나며 약 1,070~1,340Kcal/m³의 발열량을 가진다. 보통 가스는 1,340Kcal/m³ 이하의 발열량으로는 정상적인 연소조건을 유지할 수 없다. 이렇게 높은 온도와 낮은 발열량 때문에 반응기와 가까운 부근에 있는 폐가스를 연소시키는 것이 경제적이다. 폐가스는 반응기에 열을 공급하고 수증기를 발생시키는데 이용될 수 있다.

고체잔류물의 양은 보통 투입 폐기물 부피의 3~5%, 무게의 15~20%밖에 되지 않는다. 잔류물은 반응기로부터 계속해서 제거되고 즉시 급냉된다. 그것은 낱알모양이며 표8에서와 같은 조성을 가진다.

註)

8) BTU/lb=0.556kcal/kg