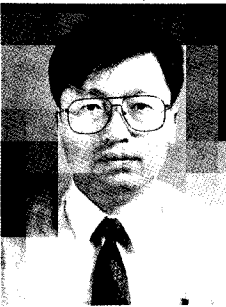


폐기물 열분해소각기술



심 성 훈

(KIMM 열유체시스템연구부)

- '78-'85 부산대학교 공과대학 기계설계학과(학사)
- '86-'88 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '88-현재 한국기계연구원 선임연구원



김 석 준

(KIMM 열유체시스템연구부)

- '72-'76 서울대학교 공과대학 기계공학과(학사)
- '82-'85 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '88-'93 한국과학기술원 기계공학과(박사)
- '80-현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서 론

현대산업에 있어서 합성수지, 합성섬유, 합성고무 등의 비금속재료는 경량성, 강도, 가공성의 향상으로 인해 그 사용량이 획기적으로 증가하고 있으며, 앞으로도 지속적인 증가가 예상된다. 1992년 환경백서에 의하면 국내의 고분자합성폐기물의 발생량은 483,092톤/년으로 전체 특정폐기물 발생량의 약 7%를 차지하고 있다. 이러한 비금속재료들은 대부분이 고분자물질이며 폐기될 때에는 그 난분해성으로 인해 특별한 처리방법을 필요로 한다. 이들 합성고분자폐기물들의 처리는 근본적으로 재생을 통한 재활용이 가장 바람직한 방안이나, 경제적, 기술적으로 불가능할 경우에는 소각이 가장 효과적인 처리방법의 하나이다. 대부분의 합성고분자류는 유류에 버금가는 높은 발열량을 가지므로 소각을 통해 열을 회수하는 방법은 상당히 경제적인 측면에서 유리하다.

그러나, 이러한 합성고분자 폐기물들은 소각에도 많은 어려운 문제를 가진다. 즉, 이들을 소각할 때 발생이 우려되는 여러가지 공해물질의 저감 또는 처리방안이 우선하여야 하는 것이다. 이러한 측면에서 볼 때 합성고분자 폐기물의 직접소각은 여러가지 문제점을 가진다. 우선, 고분자류의 빠른 분해로 발생하는 연소성가스를 원활히 연소시키기 위해서는 70 m/sec 정도의 고속의 공기분사를 필요로 한다. 그러나, 이러한 고속의 공기분사는 소각로내에서 국부적인 고온대를 발생시킬 수 있으며 또한 비산분진의 발생을 증가시킨다. 즉, 이러한 직접소각법은 CO, NO_x, 분진 등 공해물질의

발생량을 환경기준치 이내로 제어하기가 어렵다.

이러한 합성고분자류의 직접소각의 문제점을 해결할 수 있는 방안이 바로 건류가스화를 이용한 소각이다. 건류가스화는 폐기물의 부분산화, 즉, 일부를 연소시켜 발생한 CO_2 , H_2O 의 연소배가스와 열분해를 통해 생성된 char를 연소열로써 흡열반응시켜 CO , H_2 가 주성분인 가연성가스를 얻는 방법이다.

가스화장치는 19세기부터 사용되어 왔다. 초기에는 석탄을 가스화하기 위하여 1839년 독일의 Bischof에 의해 만들어졌다. 이후, 1840년 프랑스의 Ebelman, 1845년 스웨덴의 Ekman, 1861년 독일의 Siemens형제에 의해 이어졌다. Siemens 가스화장치는 중공업용 로의 연료를 생산하기 위한 것이었다. 1900년대에 들어서 나무, 짚등의 셀룰로오스계 물질의 가스화를 위한 기술이 개발되었으며 2차대전중에 자동차용 연료 생산을 위한 목탄 가스화로가 이용되었다. 전쟁이 끝난 후에 이들의 사용은 대부분 중단되었으나 스웨덴이나 핀란드에서는 가스화를 위한 연구가 계속되었다.

미국에서는 1929년 U.S. Bureau of Mines에서 고체폐기물 열분해에 관하여 연구하였으며, 1967년에 Kaiser와 Friedman이 균질한 유기성폐기물의 열분해 실험장치를 제작하여 불균질의 폐기물의 열분해에까지 개량하였다. 1973년에 들어 Battelle Northwest에서는 고체폐기물의 연료가스화에 있어 공기-수증기의 혼합공급으로 잔류물을 줄일 수 있음을 실험적으로 규명하였다. 국내에서도 근래 몇몇 연구가 수행되어 실용화를 추진하고 있는 단계이다. 그러나, 아직까지 폐기물의 열분해소각은 그 과정의 정량적인 조사가 부족한 실정으로 많은 연구개발의 여지를 남기고 있다.

열분해소각은 앞에서 언급한 바와 같이 공해저감에 유리하고 폐열회수에 있어 다양성을 추구할 수 있으므로 이에 관한 많은 관심과 실용화 개발을 위한 노력이 필요하다. 일반적으로 폐기물의 열분해소각이란 폐기물을 가스화하여 행하는 소각을 말하는 것으로 건류가스화 소각이라고도 한

다. 본 고에서는 이 건류가스화 소각처리 기술을 중점적으로 소개하고자 한다.

2. 열분해와 건류가스화

열분해(Thermal decomposition or Pyrolysis)란 산소결핍 상태에서 가열하여 폐기물내의 유기물질을 분해하는 것이다. 열분해시에는 수소성분이 많은 휘발분이 증류되어 나오므로 탈휘발화(Devolatilization)라고도 하며, 또한 char가 잔류물로 남으므로 탄화(Carbonization)란 표현도 사용된다.

건류(Dry Distillation)는 사실상 고체연료를 열분해하여 휘발분을 증류하고 원래의 연료중에 포함되어 있는 회분의 대부분이 잔류하는, 탄소를 주체로 하는 고체연료를 형성 또는 제조하는 과정을 일컫는 용어로서 열분해와 동일한 의미로 사용되고 있다.

가스화(Gasification)란 탄소, 수소 등을 함유한 고체, 액체의 원료에서 합성용 가스, 공업용 연료 가스 등을 제조하는 반응을 총칭하는 것으로 폐기물 처리에서는 폐기물을 열분해하여 연료가스로 만드는 것을 일컫는다. 좁은 의미로는 폐기물을 열에 의한 증발이 아닌 화학적 변화에 의해 기체로 변환하는 공정을 말한다.

건류가스화는 폐기물이 건조, 건류, 환원, 그리고 산화하는 일련의 과정을 일컫는 것으로 건조, 건류 및 환원에 필요한 열에너지는 산화과정으로부터 얻는다. 여기서의 산화과정은 소량의 산화제, 즉 폐기물의 이론 산소량보다 적은 양의 공기 또는 산소를 공급하여 얻어지는 것으로 이를 부분산화방식이라 일컫기도 한다. 그림 1은 전형적인 상향통풍식 건류가스화 과정을 도식화한 것으로 가스화로내의 온도 분포를 보여준다. 사실 각 과정은 명확한 경계를 가지지 않고 온도도 폐기물의 종류와 상황에 따라 다르게 된다. 우선 투입된 폐기물은 char의 연소 과정에서 발생한 열을 지닌 가스에 의해 건조되고 예열되는 소위 건조 과정

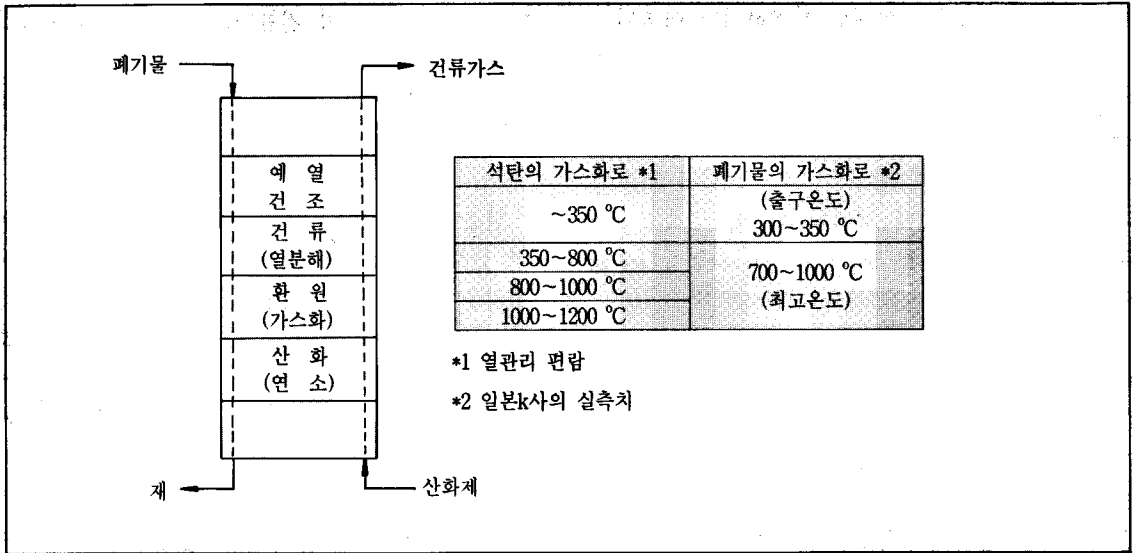
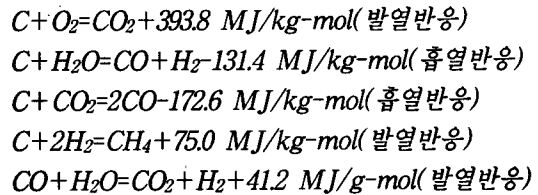


그림 1. 건류가스화 과정과 온도분포

을 거친다. 이때, 폐기물의 함수율은 최종 건류 가스의 발열량과 온도에 큰 영향을 미치게 된다. 건조된 폐기물에 더욱 열이 가해지면 열분해가 일어나 가스, 오일 및 타르를 생성하고 탄소를 주체로 하는 코우크스상의 잔사를 남기는 건류 과정(열분해 과정)을 지나게 된다. 이 과정에서 폐기물 중의 유황분과 염류는 모두 열분해하여 가스로 된다. 저온의 열분해 과정은 대부분의 물질에 대하여 흡열 반응이며 고온 열분해 과정일 경우는 발열 반응으로 알려져 있다.

다음은 환원 과정(가스화 과정)으로 주로 산화 과정에서 발생한 CO₂와 H₂O 등의 가스가 건류 과정에서 생성된 코우크스상의 잔사에 포함된 탄소에 의해 환원되는 것이다. 일반적으로 금방 탈휘발화(Devolatilization) 한 char는 반응성이 높다. 이는 연소배가스중의 CO₂와 반응하거나(Boudouard 반응), H₂O와 반응하는(Steam Carbon 반응) 흡열반응을 통하여 CO 및 H₂를 생성하며, 수소와의 발열반응(Methanation 반응)을 통하여 CH₄를 생성하는 과정을 거쳐 가연성가스를 생성한다. 여기에 관련되는 반응을 식으로 나타내면 다음과 같다.



위 식에서의 열은 25°C, 1기압에서의 것이다. 다음의 산화 과정(연소 과정)에서는 환원 과정을 거친 코우크스상의 잔사에 남아있는 탄소가 외부로부터 공급된 공기나 산소에 의해 연소된다. 이 때에 얻어진 고온의 연소열은 연소 가스에 의해 환원 과정, 건류 과정, 건조 과정에 공급되고 탄소는 거의 산화되어 재만 배출되게 된다.

건류로 또는 열분해라고 하면 좁은 의미에서 이러한 탄소의 산화 과정이 없이 외부에서 별도로, 또는 다른 방법으로 열을 가하여 많은 양의 탄소분을 함유한 재를 배출하는 로를 말하는 것으로, 건류가스화로와 구분되기도 하지만, 일반적으로 건류가스화로를 포함하는 넓은 의미로 통용되고 있다. 건류소각이란 건류가스화에 의해 발생된 가스를 연료가스나 오일로서 환수하지 않고 그대로 연소시키는 방법을 일컫는 것으로, 직접

소각 방식에 대비하여 통상적으로 사용되고 있는 용어이다. 여기서는 소각을 목적으로 하는 경우 이러한 용어들을 열분해소각로로 통일하여 사용하기로 한다.

일반적으로 고분자 폐기물을 무산소 상태에서 열분해하여 얻은 oil이나 char는 모두 높은 발열량을 가지는 좋은 연료이지만, 건류가스화에 의해 얻은 연료가스는 공기와 연소가스의 혼입으로 보통 $3,000\text{kcal}/\text{Nm}^3$ 정도 또는 그 이하의 낮은 발열량을 가진다. 그러나, 무산소상태에서의 열분해법은 별도의 가열 장치를 비롯하여 냉각장치, 가스 채집 장치, 오일 저장 장치 등 많은 부수 장치를 필요로 하는 반면 부분산화를 이용한 건류가스화법은 생성가스를 그대로 연소시킬 수 있어 고분자 폐기물 처리에 적합한 것이다.

3. 열분해소각로의 종류

열분해소각로는 형상과 작동방법에 따라 고정상로(*fixed bed reactor*) 및 이동상로(*moving bed reactor*), 로타리 킬른(*rotary kiln*), 유동상로(*fluidized bed reactor*), 유인상로(*entrained bed reactor*) 등으로 나눌 수 있다. 고정상로나 이동상로는 주로 수직축형로(*vertical shaft reactor*)의 형상이 되고 폐기물은 플러그 유동(*plug flow*)으로 천천히 아래쪽으로 이동하며 가스는 일반적으로 위쪽으로 흐르게 되어, 대항류의 열전달이 이루어져서 높은 열효율을 가진다. 로타리 킬른의 경우 폐기물은 서서히 하향으로 뒹굴면서 이동하며 가스와 주기적인 접촉을 하게 되는데, 주로 복사에 의한 열전달이 일어나므로 대항류나 평행류 등의 작동방식에 큰 영향을 받지 않는다.

유동상로에서는 폐기물이 유동 가스에 의해 잘 혼합되면서 고속으로 유동하며 성장해 가는 기포의 형태로 로를 통과해간다. 유동상은 거의 등온으로 작동하며 유동 입자는 급속 이동하는 내부 열의 이송체로 작용한다. 유동 가스에는 공기나 증기 등 가스화를 위한 작동 가스나 재순환 열분

해 가스를 사용한다.

유인상로는 병행류로 작동하며 가스와 유인된 폐기물의 체류 시간은 수초에 불과한 특징을 가진다. 폐기물 입자의 크기는 100~200 mesh 정도로 매우 작아야 한다.

건류에 필요한 열의 공급방식은 크게 외부 가열식, 열매체 순환식, 직접가열식으로 나눌 수 있다. 외부 가열식은 간접 가열식이라고도 하며 로의 외부를 고온 가스나 전기에 의해 가열하는 방식이다. 열매체 순환식은 모래, 자갈, char 등의 고온 열이송체를 순환시켜 가열하는 것이다. 직접 가열식은 숯이나 휘발성 생성물의 일부나 보조 연료를 로내에서 연소시켜 그 열로 가열하는 방식으로 가장 직접적이며 효율이 높은 가열 방식이지만 연소 가스에 의해 생성 가스가 회석되어 발열량이 낮게 되는 단점을 지닌다. 여기서는 고정상로 방식의 열분해소각로를 주로 소개한다.

4. 폐기물 열분해로의 개발 현황

초기에는 미국을 중심으로 유럽이나 일본 등에서 도시 쓰레기를 처리하는 대형 열분해로의 개발에 치중하여 왔다. 표 1은 대형 열분해로의 개발 현황을 보여 주는 것으로 각각의 로에 대한 용량, 형식과 작동 모드, 온도, 가열 방식, 생성물을 나타내고 있다. 최근에는 대형화에 따른 안전성, 설비비 등의 문제로 여러가지 어려움을 겪음에 따라 폐기물의 발생 현장에서 직접 처리하는 소형 열분해로의 개발에 많은 관심이 집중되고 있다.

한국이나 일본에서 최근 개발되고 있는 건류로는 대부분 페타이어, 폐고무, 폐합성수지 등의 고분자 폐기물을 처리하는 10 ton/day 미만의 중소형 고정상로로서 로의 내부를 내화물로 치장한 내화식과 수냉 자켓으로 로외부를 냉각시키는 수냉식으로 대별된다.

일본에서는 중소기업인 General 技研에서 개발된 내화식 건류가스화로를 Iwatani 産業(株)에서

표 1. 대형열분해로의 개발현황

프로세스명 개발자 또는 제작자	용량(톤/일) 설치위치	로의 형식 작동방식	온도	가열방법	생성물
ANDCO-TORRAX	200 룩셈부르크 Leudelange 독일 Frankfurt	용융수직축형가스화로 1000℃ 예열공기 이용	1500℃	부분산화	회박연료가스 유리류
NIPPON 신일본제철	30 일본 Kitakyushu	상동	1500℃	부분산화	회박연료가스 유리류
PYROGAS Motala	50 스웨덴 Gislaved	수직축형가스화로 예열공기와 증기이용 석탄/폐기물 혼합사용	1500℃	부분산화	회박연료가스 소량의 Tar
PUROX Union Carbide	180 미국 Charleston	용융수직축형 가스화로 산소이용	1500℃	부분산화	중급발열량의 가스 Char
LANDGARD Monsanto 후원 : EPA	900 미국 Baltimore	로타리킬른 대향류	1000℃	부분산화	회박연료가스 Char
HITACHI 후원 : MITI	24 일본 Hitaki	유동상로	500℃	부분산화	회박연료가스 Tar Char
COLDHOFE	13 독일 Goldshofe	일괄투입식 회전레토르트 열분해와 가스화 원리	1100℃	외부가열	회박연료가스 Char
DESTRUGAS Pollution Control	5 덴마크 Kalundborg	수직형 열분해로 평행류	1000℃	외부가열	중급발열량의 가스 Char
PYROX Tsukishima Kikai	40 일본 Myagi	2중유동상 크래커재생기 증기와 산소이용	700℃	가열매체	중급발열량의 가스 Char
EBARA Ebara Mfg Co. 후원 : MITI	5	2중유동상 크래커재생기 재순환열분해가스와 공기를 유동에 이용	400~700℃	가열매체	중급발열량의 가스 Char
OXY Occidental Petr Co. 후원 : EPA	180 미국 El Cajon, Cal	유입상로	500℃	가열매체	중유 Char

생산, 판매하고 있고, Kinsei 産業(株), Ohtani 開發(株), Sasakura 機械(株), Gaderius(株) 등 여러 업체에서 자체 개발하여 판매해 왔으나, 특히 안전성에 대한 기술을 확보하지 못하여 생산을 중단한 곳도 있다.

한국에서는 일본으로부터 기술을 도입하거나 자체 개발에 의하여 10여개의 중소기업에서 생산, 판매 실적이 있으며 최근 기술 개발이 비교적 활발하게 이루어 지고 있다.

5. 상향통풍식과 하향통풍식 건류가스화

앞에서는 전형적인 상향통풍식 건류가스화로를 예로들어 설명하였으나 건류가스화로는 산화제

및 가스의 유동방향, 즉, 통풍방식에 따라 상향통풍식과 하향통풍식의 두가지 방식으로 나눌 수 있다. 그림 2에 이 두가지 방식을 비교하여 도시하였다.

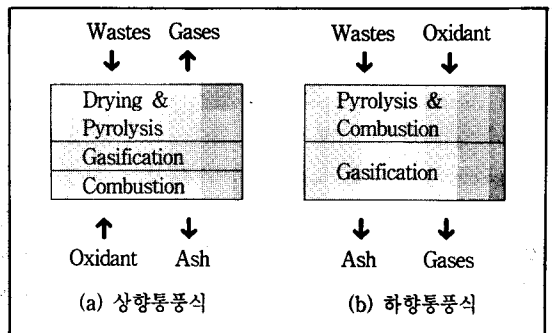


그림 2. 건류가스화 방식의 비교

상향통풍식은 그림 2의 (a)와 같이 상부에서 폐기물이 투입되고 하부에서 산화제가 공급되어, 건류가스화 반응으로 생성된 가연성 가스가 열분해층 및 새로 투입된 폐기물층을 통과하여 상부로 배출되는 방식으로 현재 대부분의 열분해소각로가 이 방식을 사용하고 있다. 여기서, 하부에서 공급된 산화제는 열분해 및 가스화의 잔유물인 char를 연소시켜 그 열을 상부의 가스화 및 열분해층에 공급하여 반응열원으로 사용하게 된다. 생성된 연료가스는 열분해층 및 폐기물층을 통과하여 연소실로 이동하여 연소용공기와 혼합되어 완전연소하게 된다. 폐기물은 거의 모든 유기물이 대상이 될 수 있으나, 그 성상에 있어 가스의 유동에 장애가 발생하지 않아야 하며 수분함량도 온도의 유지에 무리가 없는 수준이어야 한다. 고분자계통으로는 일반적으로 열경화성 합성수지류의 경우에는 이러한 상향통풍방식의 가스화가 용이하게 이루어진다. 표 2에 신문지류의 상향통풍식 가스화에 의해 생성된 연료가스의 조성을 나타내었다. 산화제로 산소만을 공급할 때 및 공기를 공급할 때의 경우이다.

표 2. 상향통풍식 가스화에 의한 생성가스의 조성

Case Constituent	Percent by Volume		
	Oxygen added	Air added	
		Run 1	Run 2
CO	49	24	7
CO ₂	15	7	12
H ₂	31	15	7
CH ₄	3	2	3
C ₂ S	2	0	2
N ₂	-	52	69

이 경우를 보면, 산소만의 공급시에는 생성연료 가스중의 CO 및 H₂의 함량이 공기의 공급시보다 월등하게 많음을 알 수 있다. 따라서 발열량도 2.3~2.9 배로 높다. 또한, 산소만의 공급시에는 질소가 전혀 함유되지 않으므로 연료가스의 연소시에 NO_x의 발생이 없어 여러모로 유리하다. 그러나, 산소의 공급은 소각에 있어서는 경제성이 없으며

생성된 가스를 연료로 이용하거나 타공정의 원료로 사용할 시에 적용된다. 그림 3에 전형적인 상향통풍식 열분해소각시스템의 예로서 Andco-Torrax 시스템을, 그림 4에 한국기계연구원에서 1991년에 개발한 상향통풍식 건류가스화로의 구조를 나타내었다.

일반적으로, 상향통풍식의 유동방식은 가연성 가스가 폐기물층을 통과하면서 열을 빼앗겨 온도가 낮아지며, 열분해층에서 생성되어 증발한 응축성 타르 및 오일을 함유하게 된다. 상향통풍식에서 타르의 함량은 대략 5~20% 가 되는 것으로 알려져 있는데, 이 타르 및 오일은 유동과정에서 관로에서의 열손실로 인해 응축, 분진과 혼합되어 점착성이 높은 상태로 관로내에 들러붙어 종국에는 관로의 폐색을 일으킬 수 있다. 건류가스화에서 이 관로의 폐색은 상당히 위험한 상황을 초래하게 된다. 즉, 건류가스화로의 적정압력의 유지가 불가능해지며, 이로 인해 가스가 외부로 누설되거나, 심하면 폭발의 상황까지 유발시킬 수 있는 것이다. 또한 연소성이 좋지않은 이 타르나 오일로 인해 생성가스의 질이 떨어지고 공해물질의 발생도 많아지게 되는 것이다. 그림 3의 Andco-Torrax 시스템은 건조부에서의 열손실 및 응축성 타르와 오일의 함량을 줄이기 위하여 건조부의 하단에 가스의 출구를 배치하였다.

또한, 상향통풍식 건류가스화에서는 운전중에 가스화로의 내부 공간에 생성된 가연성 가스가 팽 차있기 때문에 공기가 유입되지 않는 한 연소하지 않으나, 일순간에 공기가 과다 유입되게 되면 가연성가스의 착화로 인해 폭발을 일으키게 된다. 이를 방지하기 위하여 운전중에 폐기물을 공급하고자 할 때에는 이중의 투입구를 설치하여야 한다. 이는 회출장치에도 마찬가지로 적용하여야 한다. 즉, 상향통풍식의 실용화를 위해서는 전체적으로 안전을 위한 보완장치를 철저히 하여야 사고를 방지할 수 있다. 이런 이유로, 상향식 건류가스화로는 제작비용이 상승하게 되며, 건류가스화를 이용한 열분해소각로가 고분자폐기물의 처

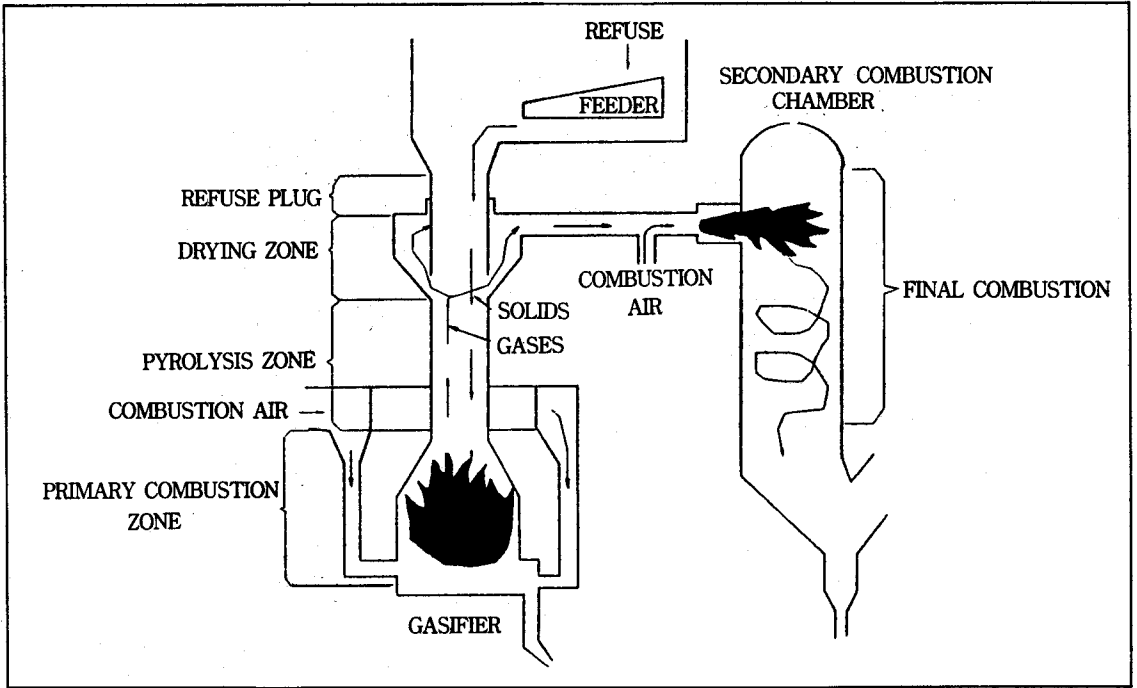


그림 3. Andco-Torrax 상향통풍식 건류가스화 시스템

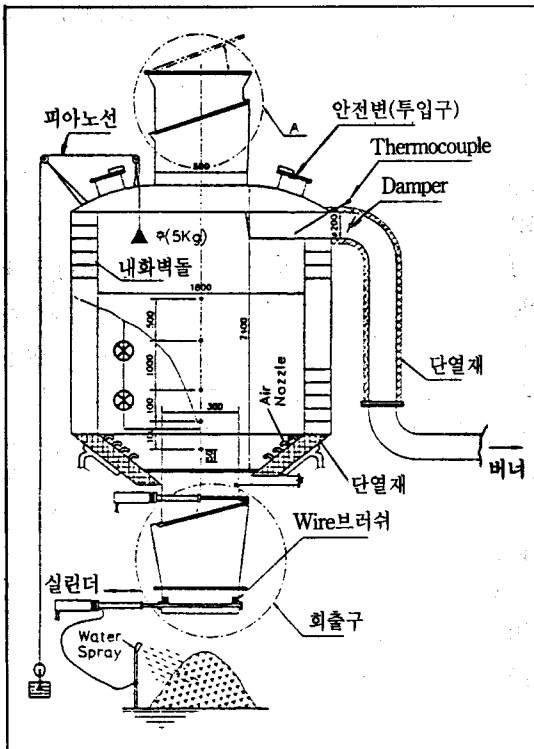


그림 4. KIMM 상향통풍식 건류가스화로

리에 유리함에도 그 사용이 확대되지 못하고 있는 것이다.

다음, 그림 2의 (b)와같이 가스 및 산화제의 유동을 하방향으로 이루어지게 한 것이 하향통풍식 가스화 방식이다. 폐기물과 함께 상부에서 이론공기량보다 적은 양의 산화제를 공급하면 폐기물의 휘발성분만이 연소하여 화염을 형성시킴과 동시에 char를 분리하는 열분해를 수행하고 역시, 이 연소열을 이용하여, 연소배가스를 열분해과정에서 잔류한 char와 반응시켜 가연성가스를 얻는 방법이다. 이 경우, 생성된 가연성가스는 상향통풍식에서와 같이 폐기물층을 통과하지 않고 하부로 유동하여 온도가 높은 char층을 통과하게 되므로 가스내에 함유된 타르가 분해(cracking)되어 청정한 연료가스로 된다. 하향통풍식 건류가스화로에서 타르의 함유량은 0.1~1% 내외로 알려져 있다. 즉, 하향통풍식 건류가스화로에서 생성되는 가연성가스는 온도도 높고, 응축성 타르나 오일의 함량이 적기 때문에 관로를 통해 수송하더라도 관로폐색의 우려가 없으며 연소시에도 공해물질의

발생이 현저히 줄어들게 된다. 또한, 이 방식은 가스화로의 상부에 화염이 존재함으로 인해 폐기물의 투입을 위해 일시적으로 과다공기가 유입되어도 폭발등의 안전사고의 위험이 없기 때문에, 특히 운전상의 이점이 많은 것이다.

이 하향식 건류가스화장치는 2차대전중에 개발되어 사용된 그림 5의 Imbert Gasifier가 그 효시로 볼 수 있다. 그러나, 이 Imbert 가스화로는 하부연소층의 공기노즐에서 공기를 분사하여 화염을 형성시키는 방법을 사용하기 때문에 로의 용량의 증가가 용이하지 못한 문제점을 안고있다. 최근의 연구를 보면 1988년 미국의 SERI (Solar Energy Research Institute)에서 메탄을 제조를 목적으로 목재 chip을 이용하여 타르가 함유되지 않은 CO, H₂ 가 주성분인 가스를 얻기위해서 하향통풍식 가스화로를 개발하였다. 그림 6에 산화제로 산소를 이용하는 이 가스화로를, 그림 7에 수정된 형태의 가스화로를 나타내었으며 표 3에 목재 chip을 가스화했을 때의 조성을 게재하였다. 여기서 알 수 있듯이 가스의 조성은 상향통풍식 가스화로에서 생성된 가스의 조성과 큰 차이가 없다. 이 가스화로는 10기압정도의 고압을 유지시키는 가압식 가스화로서 제작 및 운전에 다소 높은 비용이 소요된다. 따라서, 이러한 방식의 가압식 가스화로는 공업용 연료나 원료를 생산하기에는 유리하나 소각의 목적으로 사용하기에는 부적당하다.

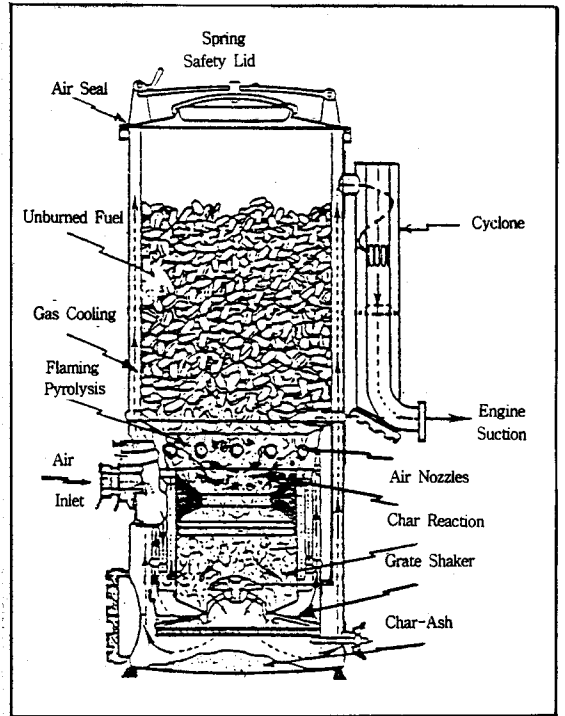


그림 5. Imbert 하향통풍식 건류가스화로

표 3. 하향통풍식 가스화에 의한 생성가스의 조성

Constituent	Percent by Volume (Air added)	
	2.5 cm chips	6 mm wood pellets
CO	19.0	21.0
CO ₂	14.0	17.0
H ₂	17.0	13.0
CH ₄	2.0	4.0
N ₂	48.0	45.0
Tar (ppm)	585	1290

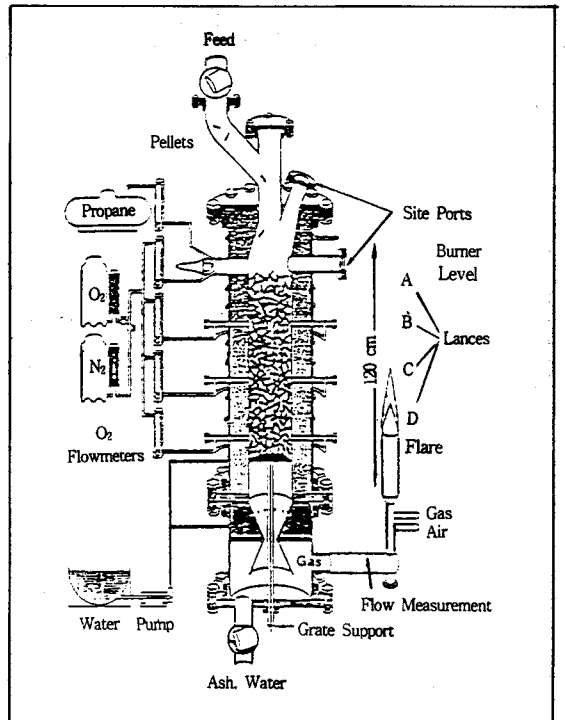


그림 6. SERI 하향통풍식 건류가스화로

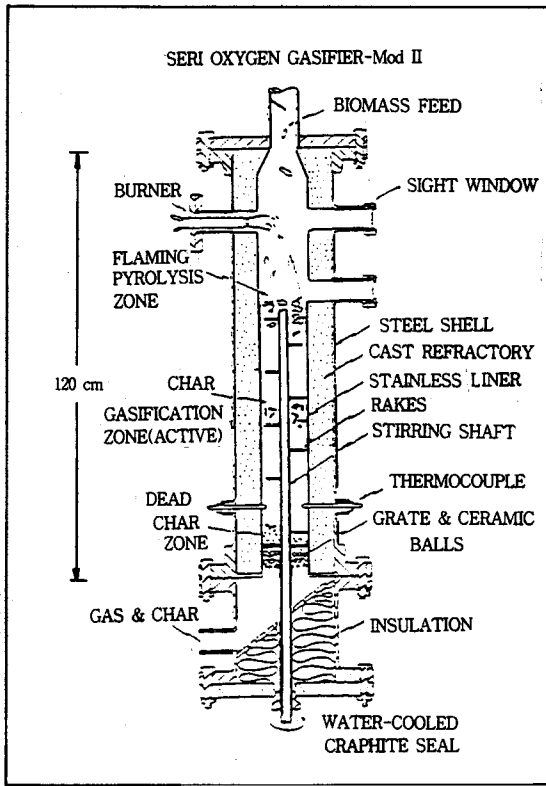


그림 7. SERI 개량형 하향통풍식 건류가스화로

또한, 하향통풍식 가스화로에서는 가스화 후의 잔유물속에 많은 양의 탄소성분이 남게된다. 이는 상향통풍식에서는 연소대상물이 이 잔류 char이지만 하향통풍식 가스화로에서는 연소대상물이 상부 폐기물의 휘발성분이고 이 잔류 char를 연소시키는 과정이 없기 때문이다. 따라서, 이 방식을 소각에 적용하기 위해서는 이 잔류 char를 완전히 연소시킬 수 있는 과정이 필요하게 된다.

그러나, 이러한 문제점에도 불구하고 하향통풍식 가스화로는 소각에의 응용에 많은 유리한 점을 제공한다. 즉, 안전성에 있어서 월등하기 때문에 안전장치에 소요되는 비용을 줄일 수 있고, 상향통풍식에서와 달리 화염에 의해 직접 열전달이 이루어지기 때문에 소각속도를 빨리 할 수 있다. 특히, 이 방식은 직접소각이 어려운 고분자 합성 폐기물을 보다 안전하게 저공해로 소각시킬 수 있다. 이 개념을 실제의 소각에 적용한 것이 한국기계연구원에서 개발한 하향통풍식 화염건류소각로이다. 그림 8에 그 구조를 나타내었다. 이 소각로는 건류가스화실에서 생성된 연료가스가 각 연소실을 거치면서 완전연소하게 되어 있으며, 1차

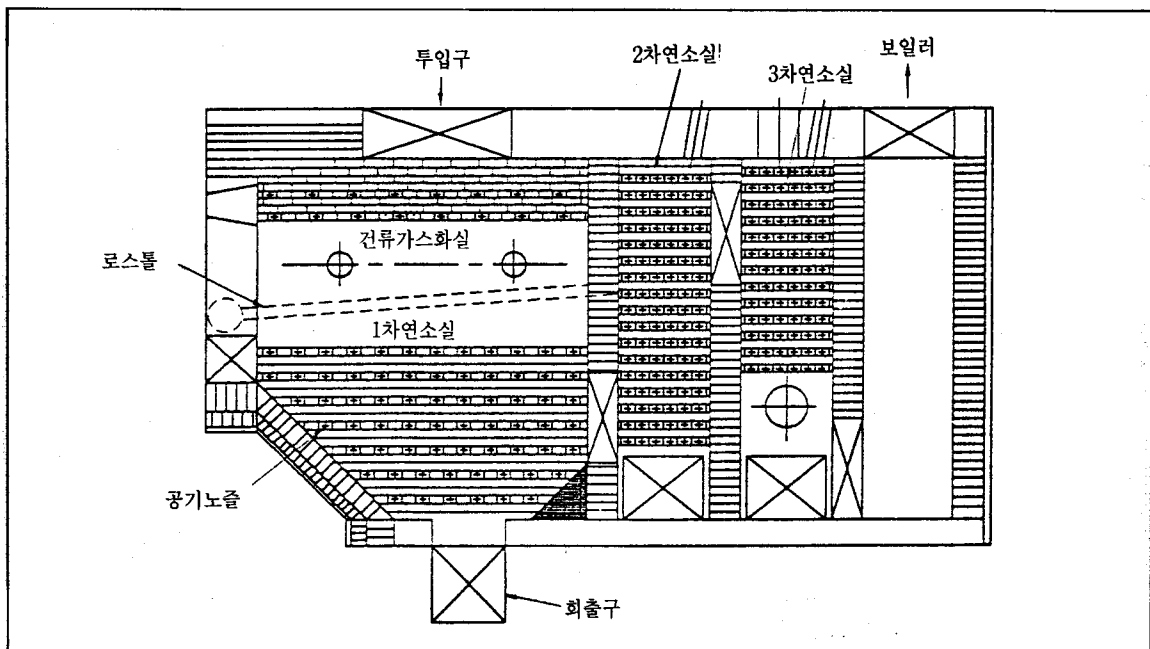


그림 8. KIMM 하향통풍식 화염건류소각로

연소실에서는 상부의 건류가스화실에서 잔류한 탄소성분이 가스와 함께 완전연소할 수 있도록 하여 열작감량을 최소화 하였다. 건류가스화실의 폐기물은 주기적으로 교반하여 하부로의 이송이 용이하게 하며 클린커의 생성을 억제하도록 한 구조로 되어있다. 이와같은 구조의 하향통풍식 열분해소각로에서는 열경화성 수지류의 고분자폐기물 뿐만 아니라 상당량의 열가소성 수지류가 포함되어도 소각에 장애가 되지않는 장점이 있다. 또한, 가압식이 아닌 유인송풍기에 의한 부압식을 채택함으로써 악취나 공해가스의 누출을 막을 수 있으며 투입구 틈새에서의 공기유입을 감안하여 설계하면 누설에 크게 주의하지 않아도 된다. 이러한 형태의 소각로는 생성된 연료가스를 다른 목적에 사용할 수 없는 단점이 있으나, 소각의 목적에는 그 안전성과 저공해성으로 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다. 개발된 소각로는 부산 북구청의 위생처리장에 설치되어 정상운전되고 있다. 투입폐기물은 폐신발류, 폐타이어, 발포보온재, 파라핀류, 접착제 등의 고분자류의 혼합물로서 발생된 배기가스는 후처리장치를 그치지 않은 상태에서 CO : 21 ppm, CO₂ : 7.6%, NO_x : 114 ppm으로 모두 환경 기준치를 만족하였다. 이는 산소농도 12%에서의 결과치이다. 이와같이 고분자 합성폐기물의 소각에 있어서도 하향통풍식 가스화방식을 응용한 소각로를 이용하면 상당히 우수한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

지금까지 건류가스화를 이용한 열분해소각기술을 고정상을 중심으로 분석해 보았다. 결론적으로 모든 유기물은 열분해하여 연료가스화할 수 있으나, 이를 소각에 적용하기 위해서는 상당한 고려가 있어야 한다. 그럼에도 불구하고 현재까지 직

접소각에 어려움이 많은 고발열량의 고분자 합성 폐기물의 소각에의 적용은 밝은 희망과 함께 높은 가능성을 보여준다. 이러한 열분해 소각로의 개발은 이제 국내에서도 다양한 형태로 응용될 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 이와 더불어 경제성 있는 생성가스 정제기술이 개발된다면 공업용 연료나 원료로의 전환으로 보다 부가가치가 높은 시스템으로 발전할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. T.B.Reed, B.Levie, M.S.Graboski, "Fundamentals, Development and Scaleup of the Air-Oxygen Stratified Downdraft Gasifier", Solar Energy Research Institute, Golden, Colorado. (1988)
2. S.A.Vigil and G.Tchobanoglous, "Co-Gasification of Densified Sludge and Solid Waste in a Downdraft Gasifier", Department of Civil Engineering, Univ. of California. (1982)
3. Buekens, A.G., Mertens, J.J.R., Schoeters, J.G.E. and Steen, P.C., "Experimental Technique and Mathematical Models in the Study of Waste Pyrolysis and Gasification", Conservation & Recycling, Vol.3, pp1-3. (1979)
4. Kun M. Lee and Soon M. Hong, "Pyrolysis, VTR and SCWO for the Treatment of Solid Wastes", Proceedings of International Symposium on Wastes on Reutilization and Resource Recovery, pp71-79. (1989)
5. 内藤幸穂, 山田正壽, "廢棄物乾留處理システムについて", 都市と廢棄物, Vol.5, No.8. (1975)
6. Resources Recovery Engineering, Prentice-Hall Inc., 1981.