

고분자 폐기물의 건류가스화와 폐열회수

김 석 준

한국기계연구소



● 1954년생
● 연소공학을 전공하였으며 각종 연소기, 공업용로 및 소각로의 개발에 관심을 갖고 있다.

1. 머리말

생활용품이 다양해지고 산업이 발달해감에 따라 최근 고분자 재료의 개발이 괄목하게 이루어져 왔다. 경량이며, 강도가 높고 열이나 압력에 의한 가공성이 좋으며 내식성을 가지는 등의 우수한 성질이 요구되어 온 결과 재료의 대체재로서 급격하게 그 이용도가 증가해 왔다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 2000년에는 철강의 5배 정도의 소비량이 예상되어 그 폐기물의 처리가 심각한 문제로 대두되고 있다.

고분자 폐기물을 처리하는 방법은 크게 재이용, 소각, 매립 등으로 나눌 수 있으나 재이용이나 매립 방법은 폐기물의 급속한 증가를 감당하기에 한계가 있다. 소각은 폐기물의 감량화와 폐열회수의 이중 효과를 얻을 수 있는 가장 일반적이고 손쉬운 방법이지만 폐고무나 폐합성 수지와 같은 고분자폐기물을 직접 소각할 때에는 많은 유해가스, 분진과 매연이 발생하는 어려움이 따른다. 건류소각 방식은 이러한 직접 소각의 단점을 보완해 주는 것으로 최근 각광을 받고 있으나 안전성, 유지관리 및 시설비 등의 면에서 뿐만 아니라 기술적인 면에서도 아직 많은 연구가 요구되고 있다.

열분해 또는 건류 가스화에 관한 연구는 석탄에 대하여 활발하게 이루어져 왔으며 1960년대에는 심각한 환경오염을 겪으면서 폐기물 처

리에 대한 응용이 시작되었다. 1970년대부터 미국에서는 EPA(environmental protection agency)의 주도로 도시쓰레기에서 가스, 기름 등을 회수하는 기술개발을 강력히 추진하였으며 일본에서도 통상산업성 산하 공업기술원의 도시쓰레기 열분해 처리 기술 개발을 시작으로 2차공해 감소를 선결 과제로 한 여러 가지 프로세스를 개발해 왔다.^(1~3) 국내에서는 최근에 들어 연구가 비교적 활발하게 이루어 지고 있다.^(4~9) 특히 동력자원부 주관의 대체에너지 사업의 일환으로 추진중인 폐기물의 에너지화 이용에 관한 연구 중에서도 열분해나 건류 가스화에 관련된 연구가 많은 비중을 차지하고 있다.^(6,16)

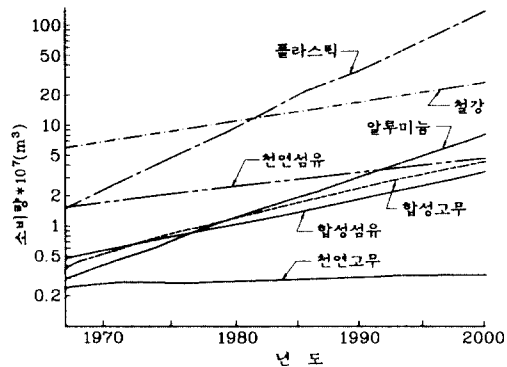


그림 1 세계의 주요한 재료의 소비량과 예측

2. 고분자 폐기물의 열분해 특성

일반 소각장치나 건류 소각장치의 선정이나 설계에 앞서 대상 폐기물의 특성을 조사하는 것은 매우 중요하다. 모든 폐기물을 효과적으로 처리할 수 있는 범용소각로는 아직까지 존재하지 않으므로 대상 폐기물의 특성에 따라 가장 효율적인 소각장치의 형태를 선정하고 그에 적합한 설계를 행하여야 한다. 고분자계 고형폐기물은 열을 받으면 연화(softening)하는 열가소성 수지(thermo-plastic resin)와 열을 가해도 연화되지 않는 열경화성 수지(thermo-setting resin)가 있다. 열가소성 수지만을 건류하게 되면 가열됨에 따라 용융적화되어 폐기물 사이의 공극을 막으므로 생성가스나 연소용

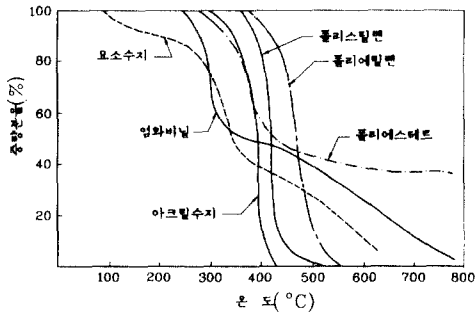


그림 2 고분자 폐기물의 열중량 분석 결과⁽³⁾

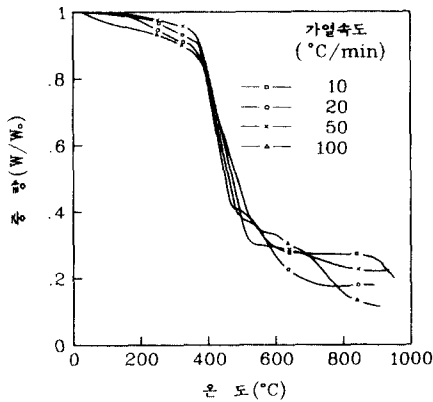


그림 3 에틸 비닐 아세이트의 가열속도 변화에 따른 열중량 분석 결과⁽¹⁶⁾

공기를 차단하여 더 이상 건류가 계속되지 못하게 한다. 따라서 열가소성 폐기물은 폐지나 폐목, 열경화성 수지 등과 적절하게 배합하여 처리하여야 한다. 발열량은 폐기물에 대한 연료로서의 질을 평가하는 기준이며 에너지 회수의 가능성 여부와 경제성을 결정하는 중요한 인자이다. 고분자 폐기물은 일반적으로 5,000~10,000kcal/kg의 높은 발열량을 가진다.

온도에 따른 폐기물의 중량감소는 매우 중요한 열분해 특성의 하나로서 열중량 분석기(TGA : thermo-gravimetric analyzer)를 사용하여 측정하게 된다. 그림 2와 그림 3은 여러 가지 고분자 폐기물에 대한 열중량 분석 결과의 예를 보여준다. 그림 2에서 나타난 바와 같이 250°C~550°C에서 급격한 감량을 보이고 있으나 폐기물의 종류에 따라 다소 차이가 있음을 알 수 있다.⁽²⁾ 그림 3은 ethyl-vinyl-acetate를 가열속도를 달리하여 열중량 분석한 결과로서 가열속도에 따른 변화가 거의 없음을 보여주고 있는데 이로부터 열분해에 의한 감량이 가열속도보다 훨씬 빠르게 이루어 짐을 알 수 있다.⁽¹⁶⁾

3. 건류 가스화

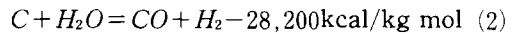
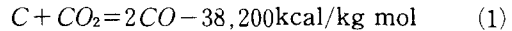
3.1 개요

열분해(pyrolysis)란 산소 결핍 상태에서 가열하는 폐기물내의 유기물질을 물리 화학적으로 분해하는 것이다.⁽¹⁾ 열분해시에는 수소성분이 많은 휘발분이 증류되어 나오므로 탈휘발화(devolatilization)라고도 하며 또한 char가 잔유물로 남으므로 탄화(carbonization)란 표현도 사용된다.⁽¹⁰⁾ 건류(dry distillation)는 사실상 고체연료를 열분해하여 휘발분을 증류하고 원래의 연료중에 포함되어 있는 회분의 대부분이 잔류하는, 탄소를 주체로 하는 고체연료형성 또는 제조하는 과정을 일컫는 용어로서 열분해와 동일한 의미로 사용되고 있다.⁽¹¹⁾ 가스화(gasification)란 탄소, 수소 등을 함유한 고체, 액체의 원료에서 합성용 가스, 공업용

연료가스 등을 제조하는 반응을 총칭하는 것으로 폐기물 처리에서는 폐기물을 열분해하여 연료가스로 만드는 것을 일컫는다.⁽¹¹⁾ 좁은 의미로는 폐기물을 열에 의한 증발이 아닌 화학적 변화에 의해 기체로 변환하는 공정을 말한다.⁽¹⁰⁾

건류 가스화는 폐기물이 건조, 건류, 환원, 그리고 산화하는 일련의 과정을 일컫는 것으로 건조, 건류 및 환원에 필요한 열에너지는 산화과정으로부터 얻는다. 그림 4는 건류 가스화 과정을 도식화한 것으로 가스화로 내의 온도분포를 보여준다.⁽¹²⁾ 사실 각 과정은 명확한 경계를 가지지 않고 온도도 폐기물의 종류와 상황에 따라 다르게 된다.

우선 투입된 폐기물은 char의 연소과정에서 발생한 열을 지닌 가스에 의해 건조되고 예열되는 소위 건조과정을 거친다. 이 때 폐기물의 함수율은 최종 건류가스의 발열량과 온도에 큰 영향을 미치게 된다. 건조된 폐기물에 더욱 열이 가해지면 열분해가 일어나 가스, 오일 및 타르를 생성하고 탄소를 주체로 하는 코우크스상의 잔사를 남기는 건류과정(열분해과정)을 지나게 된다. 이 과정에서 폐기물 중의 유황분과 염류는 모두 열분해하여 가스로 된다. 다음은 환원과정(가스화과정)으로 주로 산화과정에서 발생한 CO₂와 H₂O 등의 가스가 건류과정에서 생성된 코우크스상의 잔사에 포함된 탄소에 의해 환원되는 것이다. 이 때의 주반응은 식 (1)과 같은 발생로 가스 반응(boudouard 반응)과 식 (2)와 같은 불균일계 수성가스 반응(탄소-수증기 반응)이다.



이 반응에 의해 CO와 H₂가 생성되므로 좁은 의미에서 이 과정을 가스화과정이라고 부르기도 한다.

산화과정(연소과정)에서는 환원과정을 거친 코우크스상의 잔사에 남아있는 탄소가 외부로부터 공급된 공기나 산소에 의해 연소된다. 이때에 얻어진 고온의 연소열은 연소가스에 의해 환원과정, 건류과정, 건조과정에 공급되고 탄소는 거의 산화되어 재만 배출되게 된다. 건류로 또는 열분해로라고 하면 좁은 의미에서 이러한 탄소의 산화과정이 없이 외부에서 별도로 또는 다른 방법으로 열을 가하여 많은 양의 탄소분을 함유한 재를 배출하는 로를 말하는 것으로 건류 가스화라고 구분되기도 하지만 일반적으로 건류가스화로를 포함하는 넓은 의미로 통용되고 있다.

3.2 건류로의 종류

건류로는 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.⁽¹³⁾ 고정상로나 이동상로는 주로 수직축형로(vertical shaft reactor)의 형상이 되고 폐기물은 플러그 유동(plug flow)으로 천천히 아래쪽으로 이동하며 가스는 일반적으로 위쪽으로 흐르게 되어 대향류의 열전달이 이루어져서 높은 열효율을 가진다. 로타리 킬른의 경우 폐기물은 서서히 하향으로 둥굴면서 이동하며 가스와 주기적인 접촉을 하게 되는데 주로 복사에 의한 열전달이 일어나므로 대향류나 평행류 등의 작동방식에 큰 영향을 받지 않는다. 유동상로에서 폐기물은 유동가스에 의해 잘 혼합되면서 고속으로 유동하며 성장해가는 기포의 형태로 로를 통과해간다. 유동상은 거의 등온으로 작동하며 유동입자는 급속 이동하는 내부열의 이송체로 작용한다. 유동가스에는 공기나 증기 등 가스화

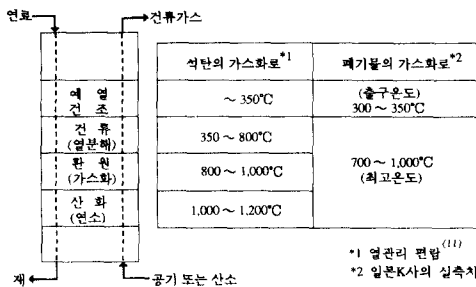


그림 4 건류가스화로의 온도분포

를 위한 작동가스나 재순환 열분해 가스를 사용한다. 유인상로는 병행류로 작동하며 가스와 유인된 폐기물의 체류시간은 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 간접가열식이라고도 하며 로의 외부를 고온 가스나 전기에 의해 가열하는 방식이다. 열매체 순환식은 모래, 자갈, char 등의 고온 열 이송체를 순환시켜 가열하는 것이다. 직접 가열식은 숯이나 휘발성 생성물의 일부나 보조연료를 로내에서 연소시켜 그 열로 가열하는 방식으로 가장 직접적이며 효율이 높은 가열방식이지만 연소가스에 의해 생성가스가 회석되어 발열량이 낮게 되는 단점을 지닌다.

3.3 건류로의 개발 현황

초기에는 미국을 중심으로 유럽이나 일본 등에서 도시 쓰레기를 처리하는 대형 건류로의 개발에 치중하여 왔다.^(13,14) 표 1은 대형 건류로의 개발 현황을 보여주는 것으로 각각의 로에 대한 용량, 형식과 작동모드, 온도, 가열방식, 생성물을 나타내고 있다.⁽¹⁴⁾ 최근에는 대형화에 따른 안전성 설비비 등의 문제로 여러 가지 어려움을 겪음에 따라 폐기물의 발생현장에서 직접 처리하는 소형 건류로의 개발에 많은 관심이 집중되고 있다.

한국이나 일본에서 최근 개발되고 있는 건류로는 대부분 페타이어, 폐고무, 폐합성 수지 등의 고분자 폐기물을 처리하는 10ton/day미만의 소형 고정상로서 로의 내부를 내화물로 치장한 내화식과 수랭 자켓으로 로외부를 냉각시키는 수랭식으로 대별된다.

일본에서는 중소기업인 General 技研에서 개발된 내화식 건류가스화로를 Iwatani産業(株)에서 생산, 판매하고 있고, Kinsei 産業(株), Ohtani 開發(株), Sasakura 機械(株), Gaderius(株) 등 여러 업체에서 자체 개발하여 판매

해 왔으나 생산을 중단한 곳도 있다. 또한 한국에서는 한국 건류가스 산업(주)를 비롯하여 일본의 Ohtani開發(株)에서 기술을 도입한 원산업, 대림에너지(주), 삼보 ES 산업기계 등 10여 개의 중소기업에서 생산, 판매한 실적이 있다. 최근에는 대성산업(주)에서 일본의 General 技研과 기술을 제휴하여 개발을 서두르고 있고 고려소각로에서도 한국기계 연구소와 연속 건류가스화로의 개발을 추진중에 있다.

4. 폐열회수

초기에는 열분해 또는 건류장치로부터 연료 가스, 오일, char 등의 자원회수에 많은 관심을 기울였으나 최근 국내에서는 보다 직접적인 에너지 절약의 방법으로 폐열회수를 선택하고 있다. 건류가스화에 의한 폐열회수 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 그 하나는 건류 가스를 연소시킨 후 고온의 연소가스로부터 에너지를 회수하거나 다른 열공급 매체를 생산하는 간접방식과 다른 하나는 건류가스를 직접 공정용 연료가스로 사용하는 직접방식이다.

4.1 간접 폐열회수

간접 폐열회수 방식은 건류가스의 연소 배기가스가 지닌 열에너지를 보일러나 열교환기를 이용하여 회수하여 고온수나 보통온수, 증기 등의 열공급 매체를 생산하는 방식이다.⁽¹⁵⁾

고온수는 대기압 이상으로 가압된 상태에서 100°C 이상으로 가열한 온수를 일컫는다. 고온수는 급수와 환수의 온도차가 크기 때문에 동일 열량을 이송하는 데에 필요한 물의 양을 줄여도 되므로 배관경이나 펌프동력을 작게 하는 것이 가능하다. 또한 증기식에 비하여 방열 손실이 적고 배관이 용이하다는 점 등의 이점이 있으나 밀폐식 팽창 탱크가 필요하고 순환펌프의 비용이 높으므로 약 5Gcal/hr이상의 대규모 열공급 플랜트에 적합하다. 고온수는 목욕탕이나 세면용의 생활시설에 직접 사용하는 것

표 1 대형 열분해로의 개발 현황⁽¹⁴⁾

프로세스명 개발자 또는 제작사	용량(톤/일) 설치 위치	형식 및 작동방식	온도	가열방법	생성물
ANDCO-TORRAX	200 룩셈부르크 로이델 랑게 독일 프랑그푸 르트	용융수직축형 가스화 로 1000°C 예열공기이 용	1500°C	부분산화	희박연료가스 유리류
NIPPON 신일본제철	30 일본 키타큐우슈우 사	상동	1500°C	부분산화	희박연료가스 유리류
PYROGAS Motala	50 스웨덴 기스라베드	수직축형 가스화로 예 열공기와 증기이용 석 탄/폐기물 혼합사용	1500°C	부분산화	희박연료가스 소량의 Tar
PUROX Union Carbide	180 미국 찰스턴	수직축형 가스화로 산 소이용	1500°C	부분산화	중급발열량의 가스 Char
LANDGRAD Monsanto 후원 : EPA	900 미국 볼티모어	로타리킬른 대향류	1000°C	부분산화	희박연료가스 Char
HITACHI 후원 : MTTI	2.4 일본 히타키시	유동상로	500°C	부분산화	희박연료가스 Tar Char
GOLDSHÖFE	13 독일 골트쇠페시	일괄루입식 회전 레토 르트 열분해와 가스화 의 분리	1100°C	외부가열	희박연료가스 Char
DESTRUGAS Pollution Control Ltd.	5 덴마크 칼룬트보크	수직형 열분해로 동행 류	1000°C	외부가열	중급발열량의 가스 Char
PYROX 츠키시마기계	40 일본 미야기현	2중 유동상 크래커 재 생기 증기와 산소 이 용	700°C	가열매체	중급발열량의 가스 Char
EBARA Ebara Mfg. Co 후원 : MITI	5	2중 유동상 크래커 재 생기 재순환 열분해가 스와 공기를 유동에 이용	400~700°C	가열매체	중급발열량의 가스 Char
OXY Occidental Petr. Co 후원 : EPA	180 미국 엘캐존	유입상로	500°C	가열매체	중유 Char

EPA : Environmental Protection Agency, 미국환경보호청

MITI : Ministry of International Trade and Industry, 일본 통상산업성

은 위험하므로 2차 열교환이 필요하게 된다. 보통 온수라 함은 100°C 미만의 온수를 말하는 것으로 온도가 낮기 때문에 열수송 효율은 나쁘지만 설비가 간단하고 안정성이 높다. 따라서 소규모이고 열수송거리가 100m정도 이내의 곳에 적합한 방식이다. 증기는 통상 3.5기압 미만의 저압증기와 3.5기압 이상의 고압증기로 나뉘는데 저압증기의 경우 열수송 밀도가 낮아 관경이 크게 되고 따라서 설비비가 높아지므로 대규모 시스템에는 고압증기를 주로 사용하게 된다. 이 때, 증기 터빈을 이용하여 발전을 하기도 한다.

4.2 직접 폐열회수

직접 폐열회수 방식은 건류가스를 연소시킨 배기가스로부터 직접 열을 회수하여 이용하는 방법이다. 예를 들면 각종 건조장치, 금속의 용해로, 가열로, 폐기물 소각로 등에 이용된다.

건조에는 대부분이 중유를 사용하고 있으므로 이를 대체할 경우 상당한 에너지의 절약이 가능하고 이에 따라 원가가 대폭 절감될 수 있게 된다. 특히 건설용 모래나 자갈의 건조, 요업원료 등의 건조, 양계장의 계분이나 농장 가축의 분뇨를 건조시켜 비료화하는 플랜트에 이용될 수 있다. 또한 제지 슬러지의 건조에도 이용된다. base metal 공장, 2차 합금공장, 주조공장 등에서 알루미늄합금이나 동합금 등 비교적 용융온도가 낮은 비철금속의 용해로에도 사용될 수 있다. 또한 용해전 원료의 예열이나 강재 압연공장, 단조공장 등의 가열로에도 사용이 가능하다.

건류가스의 연소에 의한 열은 폐기물 소각로에도 사용된다. 즉, 난연성 폐기물의 조연이나 슬러지, 오니, 오수 등 수분이 많은 폐기물 소각의 열원으로 사용될 수 있으므로 폐기물 처리소에서 행해지는 종합적인 폐기물의 처리에 소각로와 함께 이용되기도 하다.

5. 문제점과 대책

전술한 바와 같이 여러 가지 형태의 건류로가 개발되어 왔으나 더 이상 실용화되지 못하고 pilot plant 개발에 그치거나 제작을 중단한 제조업체도 다수 있다. 그 중요한 이유로는 특히 대형의 경우 안전성이 원천하게 보장되어 있지 않고 설비비 및 운영비가 비싸 경제적인 이득이 미약하고 공정자체에 대한 개발이 완벽하게 이루어져 있지 않은 점 등을 들 수 있다. 국내에서 개발된 거의 대부분이 일괄투입식의 소형 고정상 건류가스화로로서 이에 대한 문제점을 좀더 자세히 알아보고 그 대책을 논하였

다. 건류가스화로의 작동시간은 정상건류가 이루어지기까지의 전처리 시간, 정상건류시간, 그리고 건류가스의 질이 저하되기 시작하여 자발적인 연소가 이루어지지 않는 시점부터 char의 연소가 완전히 끝나는 후처리 시간의 3단계로 나눌 수 있다. 일괄투입식의 가장 큰 단점은 전처리 시간과 후처리 시간이 정상 건류 시간에 비하여 매우 길다는 것이다. 따라서 건류가스화로의 능력에 비하여 폐기물의 처리능력은 크게 저하되어 비효율적으로 되고 정상적인 건류가스의 생성이 연속적으로 이루어지지 않는다. 이를 극복하기 위하여 두 대 이상의 건류 가스화로를 설치하여 교대로 운전하기도 하지만 설치 공간이 넓어야 하고 초기시설비가 많이 드는 단점이 있다. 또한 정상 건류시간을 늘리기 위하여 대형화하게 되는데 이 경우 완벽한 안전성이 보장되어야 하며 폐기물의 투입과 재처리에 많은 인력이 소모되고 이에 따른 인건비 부담이 크게 된다. 연속 건류 방식은 이러한 일괄 투입식의 단점을 잘 보완해 주는 것으로 개발이 필수적이지만 아직까지 밀폐된 상태로 폐기물의 투입과 재처리를 연속적으로 원활하게 수행하는 장치의 개발이 미비하다. 또한 소형가스화로의 경우 연속 자동 폐기물 투입 및 재처리 장치의 비용이 상대적으

로 높아져 초기 설치비가 고가일 우려도 있다. 건류가스관에서의 오일이나 타르의 적출은 관을 폐색할 우려가 있고 건류가스의 질을 저하시키거나 가스연소시 실화의 우려가 있게 되므로 건류가스를 충분히 높은 온도로 배출하고 적정관경을 선정하여 관내 유속을 조정하고 관을 보온하며 오일이나 타르의 응축을 최소한으로 하는 것이 좋다. 생성된 오일이나 타르를 다시 고온부에 투입하여 분해시키거나 버너에서 분무하여 연소시키는 방법도 있다.

발생되는 건류 가스의 양과 온도는 주로 건류용 공기량에 의해 제어되지만 그 응답성이 느려서 제어에 많은 어려움이 있을 뿐 아니라 안전성에도 지장을 준다. 즉 건류가스가 연소하는 도중에 실화하게 되면 건류용 공기의 차단에 의해서만 즉각적인 건류가스의 발생을 억제하기는 어려우므로 추가의 안전장치를 설치하여야 한다.

대상 폐기물의 전부 또는 대부분이 열가소성 고분자 폐기물일 경우에는 열분해할 때 용융적 하현상이 일어나므로 연소가스 또는 건류가스가 통과할 공극을 막게 되고 열가소성이 아닌 폐기물의 표면을 덮게 되어 휘발하거나 가스화할 폐기물의 표면적을 줄이고 심지어는 연소부를 덮쳐 실화케 하는 등 건류가스화가 불가능하게 된다. 따라서 폐목재나 폐지, 열경화성 고분자 폐기물과 적절히 혼합하여 처리하여야 한다. 이러한 열가소성이 아닌 폐기물을 쉽게 구할 수 없는 경우에는 열가소성 폐기물 전용 건류 가스화로를 개발하여야 한다

건류가스화 방식은 직접 소각에 비하여 분진과 악취의 발생이 적고, NO_x , SO_x 의 생성도 적다고는 하지만 환경 규제치 내에 든다는 보장이 없으므로 대기오염 방지 시설은 필요에 따라 갖추어야 한다. 특히 폴리염화 비닐 등에서 발생하는 HCl은 대기오염뿐만 아니라 장치의 부식에도 큰 영향을 주므로 그 처리 시설은 필수불가결하다고 하겠다. 그러나 직접 소각에 의한 연소가스량보다 건류가스의 양이 현저히 적은 것은 물론, 건류가스의 연소가스량도 적


으므로 가스 처리시설의 용량과 시설비를 줄일 수 있게 된다.

폐열회수시의 건류가스 연소장치에서는 버너가 가장 중요하다. 저압 저속의 발열량이 낮은 건류가스를 최소의 과잉공기에 의해 넓은 범위의 턴다운비에서 실화시키지 않고 어떻게 잘 연소시키느냐 하는 것이 문제이다. 불완전 연소가스는 보일러나 열교환기 등을 오염시키게 된다. 특히 건류가스관에서 생성된 오일과 타르를 건류가스와 동시에 연소시키는 경우 높은 열회수율을 얻게 된다.

결론적으로 고분자 폐기물의 특성 데이터 확보, 건류가스화의 메카니즘 규명 및 제어방법 확립, 폐기물 투입 및 재처리연속 자동화, 타르의 생성 억제, 버너의 고기능화, 로의 대형화와 안전성 확보 등 고분자폐기물의 건류가스화와 폐열회수 기술에 대한 당면과제는 산적해 있다. 이를 해결하기 위하여는 기초연구에서부터 응용, 개발, 실용화 연구에 이르기까지 지속적이고 활발한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 정남조, 1989, 폐기물 용어집, 동화기술.
- (2) 김정현, 이승무, 1989, 폐기물 처리, 동화기술.
- (3) 産業公害防止協會, 1976, 廢棄物 再資源化技術, 産業公害防止協會 最新編輯部.
- (4) 정남조, 이유원, 박호성, 김삼권, 최훈근, 1989, "열분해를 이용한 유기계 폐기물의 자원회수에 관한 연구", 한국폐기물학회지, 제 6권, 제1호, pp.37~48.
- (5) Lee, K.M. and Hong, S.M., 1989, "Pyrolysis, VTR and SCWO for the Treatment of Solid Wastes", Proceedings of International Symposium on Wastes on Reutilization and Resource Recovery, pp. 71~79.
- (6) 김영성, 1989, 폐기물의 열분해 반응연구, 동력자원부 연구보고서.

- (7) 전해상, 우성일, 김영걸, 1988, "열분해 온도에 따른 폴리염화비닐의 분해 생성물 연구", 한국폐기물학회지, 제 5 권 제 1 호, pp. 1~6.
- (8) 김희강 1989, "폐기물의 건류가스 연료화 가스개발", 에너지 관리공단 연구보고서,
- (9) 김석완, 1990, Polyethylene과 Polystyrene 혼합 폐기물의 중온열분해를 통한 방향족 화합물의 최대회수, 한국 과학 기술원 석사 학위 논문.
- (10) 김상돈, 1986, 석탄 에너지 이용 기술, 민음사.
- (11) 理論熱エネルギー技術協會編, 1978, 熱管理便覽, 改訂三版, 丸善.
- (12) 内藤幸穂, 山田正壽, 1975, "廢棄物乾留處理システムにいて, 都市と廢棄物 Vol.5, No.8.
- (13) 平岡正勝, 1977, "廢棄物と熱分解", 都市と廢棄物, " Vol.7, No.1.
- (14) Buekens, A.G., Mertens, J.J.R. Schoeters, J.G.E. and Steen, P.C., 1979, "Experimental Techniques and Mathematical Models in the Study of Waste Pyrolysis and Gasification", Conservation and Recycling, Vol.3, pp. 1~3.
- (15) 平山直道, 杉島和三郎, 1983, 産業廢棄物燃焼と熱利用の現状と課題, 省エネルギー, Vol.35, No.11.
- (16) 김석준, 1991, 고분자 폐기물 건류소각과 폐열회수 및 건식 가스처리 기술 개발, 동력자원부 연구보고서, 901D103-105DP. 

■ 국제 학술대회 참가안내 ■

Fifth International Conference on Vibrations in Rotating Machinery

장 소 : University of Bath, Bath, U.K.

일 시 : 1992. 9. 7. — 9. 10.

논문제출일정 : 초록제출마감(1991. 6. 14.)

논문제출마감(1991. 10.)

분 야 : Active Control ; Identification ; Condition Monitoring ; Balancing ; Dynamic Analysis ; Unbalance Response ; Instability ; Service Experience ; Bladed Systems ; Seals and Bearings ; Gears ; Cracked Rotors ;

연락처 : Hazel Anderson, Conference Department C432, Institution of Mechanical Engineers, 1 Birdcage Walk, London, SW1H 9JJ