

廢棄物 燒却技術의 變遷과 新技術 動向

金成中 · *朴賢緒*

인천대학교 안전공학과, *전주대학교 환경시스템학과

New Trend of Incineration Technology for Waste Treatment

Seong-Jung Kim and *Hyun-Seo Park*

Dept. of Safety Eng., University of Incheon, 177 Dowha-dong, Nam-gu, Incheon 402-749, KOREA

*Dept. of Environmental Sci. & Tech., Jeonju University, Jeollabukdo 520-759, KOREA

요 약

저공해 소각 시스템이 구성되어 현재 폐기물처리의 주축을 이루고 있으나 경제 발전과 환경에 대한 인식, 재활용을 위한 분리수거율 향상 등으로 인하여 폐기물의 발열량이 점차 증가되고 있는 실정이다. 따라서 높은 발열량을 이용한 에너지의 효율적 이용에 대한 요구와 소각로에서 필수적으로 수반되는 중금속 ash 문제, dioxin의 저감문제 등을 보다 효과적으로 처리하는 방법에 대한 연구가 끊임없이 지속되어 왔다. 여기에서는 최근에 가장 현실적으로 접근되고 있는 열분해시스템, 열분해용융시스템, 열분해가스화용융시스템의 대표적인 설비에 관하여 기술하였다.

주제어: 소각기술, 열분해, 용융

Abstract

The present main research direction of waste treatment is the development of incineration system for low pollution. Also, heat value of waste is increased because of the rising of living standard, environmental consideration and collection of sorted waste for recycling. Therefore, many researches have been continued for solving ash problem including heavy metals, dioxin problem and high energy efficiency by use of high heat value. This study is described for the facilities of pyrolysis system, pyrolysis-melting system, pyrolysis-gasification melting system.

Key words: Incineration Technology, Pyrolysis, Melting

1. 서 론

폐기물의 발생은 인구증가와 산업의 발달에 따라 더 불어 증가해 왔다. 이러한 폐기물을 환경적 또는 위생적으로 관리하고 처리하는 기술이야말로 매우 중요하다. 얼마 전까지만 해도 대부분의 폐기물을 매립방식에 의해 처리해 오고 있었으나, 국토의 좁은 면적에 따라 매립지를 확보하는 것이 어려울 뿐 아니라, 매립에 의해 처리될 경우 수십 년 동안 중점적으로 관리하지 않으면

이 매립지가 계속적인 2차 오염원이 되어 환경오염을 유발하게 되고 있는 실정이다. 다행히 폐기물의 성분 가운데는 상당부분 가연성 물질로 되어 있어 연소에 의해 가연성물질을 처리할 뿐만 아니라 폐기물에 함유되어 있는 수분까지도 건조 증발하게 됨으로 결국은 전체 폐기물의 13~16% 정도의 회분만이 재로 남게 되어 많은 량의 폐기물이 아주 짧은 시간 안에 가장 위생적으로 아주 안정하게 처리될 수 있다. 남은 재(ash)를 재활용하거나 쉽게 위생적으로 매립하게 됨으로 매립지의 수명연장에도 기여하게 되는 것은 물론이고, 부수적으로 발생하는 폐열을 이용함으로써 우리에게 경제적 이익을 주는 기술을 소각기술이라 한다. 이와 같은 소각기술의

* 2004년 8월 1일 접수, 2004년 8월 13일 수리

* E-mail: hnsepark@jeonju.ac.kr

필요성을 Fig. 1에 나타내었다.

우리나라는 1996년 6월 환경부에서 수립한 '국가폐기물관리종합계획'에서 생활폐기물의 소각처리율을 95년 말 4.0%에서 2005년까지는 20%수준으로 증대하기로 국가목표를 설정한 바 있다. 소각시설 등 폐기물처리시설의 설치를 용이하게 하고자 '폐기물처리시설설치촉진 및 주변지역지원 등에 관한 법률'을 1995년 제정·시행함으로써 해서 소각기술이야말로 폐기물처리에 매우 중요한 것으로 인식되고 있다.

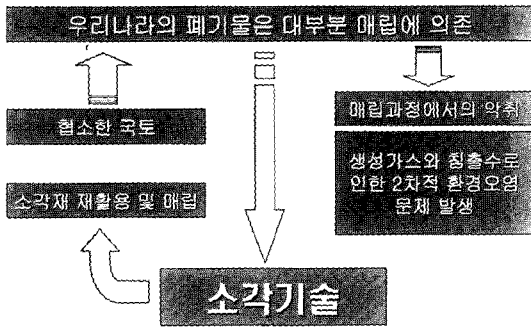


Fig. 1. 소각기술의 필요성

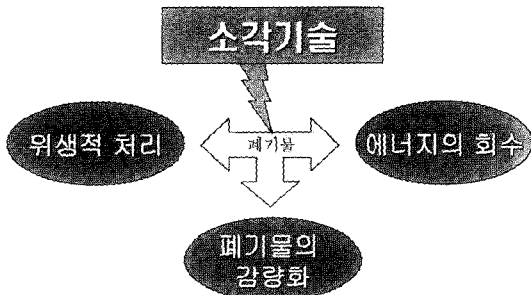


Fig. 2. 소각기술의 장점

소각기술이란 Fig. 2에서 보여주듯이 폐기물 연소 시 발생하는 유해물질(다이옥신, 퓨란 등)을 제거하여 환경을 보전하는 친환경적인 기술을 도입하여 위생적 처리와 연소 시 발생하는 폐열을 이용하여 지역난방, 온수 공급, 전력생산을 통하여 지역주민들에게 공급함으로써 지역경제의 발전을 꾀하고, 주민들의 삶을 윤택하게 하는데 이바지하는 것이다.

2. 소각기술의 변천과정

아래 Fig. 3에서 보는 바와 같이 소각기술이 등장하기 전에는 노천에서 자유롭게 소각해왔으나 노천소각되는 폐기물의 양이 그리 많지 않았을 뿐 아니라 당시 폐기물에 함유되어 있는 유해물질은 거의 없어 대기오염에 큰 영향을 주지 못했다. 점차 폐기물의 양이 증가되고 폐기물의 성상이 다양해짐으로 유해성 물질이 노천소각 후 많이 발생하여 대기오염에 영향을 주기 시작했으며, 때문에 일정부분 밀폐시키면서 소각할 수 있는 batch 소각방식이 등장하게 된 것이다. 산업화와 생활정도가 향상되면서 폐기물 배출량은 급속히 증가되었고, 폐기물을 안정적으로 처리하기 위해 좀더 친환경적인 소각방법이 모색되었으며 이로 인해 소각기술은 기계식 연속운전방식이 발전되었고 현재는 완전한 처리방식에 가까운 열분해용융기술까지 개발되어 상용화직전에 이르렀다.

최근 몇 년간 일본에서의 소각로 발주동향을 살펴보면, 기존 소각 방식인 스토커식 소각로가 98년 급속한 감소 이후에 전체의 46.5%를 차지하고, 연구단계이던 열분해용융 방식의 소각이 전체의 52.5%를 차지할 정도로 급속한 성장을 보이고 있다(Fig. 4 참조). 이러한 것으로 볼 때 단순히 폐기물을 소각하여 발생한 소각재

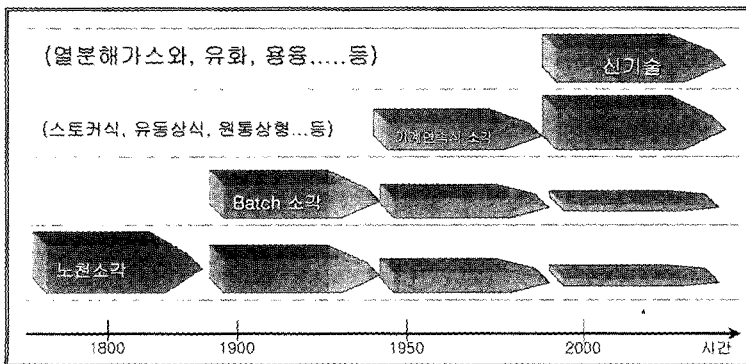


Fig. 3. 소각기술의 변천

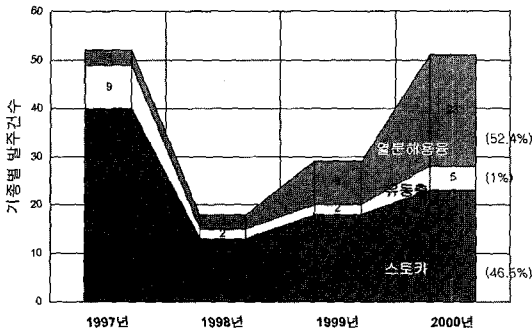


Fig. 4. 소각로 기종별 발주건수 (출처 : 환경시설 No. 84, 2001, 일본)

를 매립하고 발생하는 유해물질을 제거하던 소각방식에서, 폐기물 자체를 완전 열분해하여 유해물질 및 소각재의 처리가 거의 완벽한 수준까지 이루어지는 열분해 용융방식의 기술이 선택되었다.

소각로는 폐기물을 소각하여 그 열을 이용할 수 있지만 이 과정에서 2차 오염물질(HCl, HF, SOx, NOx, CO, Dioxin)을 발생하여 대기를 오염시킬 수 있다. 모든 연료와 같이 쓰레기는 소각에 의해 이산화탄소와 물을 생성하여 연소 기체의 형태로 배출한다. 이 과정에서 생성되는 2차 오염물질은 입자상 물질로나 가스상 물질로 분류되고, 배출되는 양은 폐기물의 조성, 소각 방법, 연소 장치의 구조, 그리고 소각로의 종류에 따라 다르다. 저 다이옥신과 저 퓨란 발생을 위해 2차 연소실의 연소 가스 체류시간을 2초 이상으로 하고, 가스 온도 850°C를 유지하도록 명시해 두고 있다. 다시 말해서 저공해 소각로라는 것은 위의 조건을 만족하기 위해서 노 내에서의 연소에 의해 오염물질의 생성을 억제하고, 노에서 나온 배기가스중 독성물질등 유해가스의 재생을 억제하고, 또한 후처리 설비를 통하여 최종적으로 굴뚝을 통하여 배출되는 가스에 포함된 공해물질을 규

제치 이하로 제거하는 것이다. 선진국 등에서는 이미 이 개념을 토대로 소각설비를 구축하고 있다.

저공해 소각로의 개념을 정리하면, Fig. 5에서 보는 바와 같이

- 1) 최적연소환경조성(3T)
- 2) 온도제어에 의한 유해물질 생성억제
- 3) 후처리 설비에 의한 유해물질 제거 및 분해
- 4) 독성 반응 생성물의 적절한 처리로 볼 수 있다.

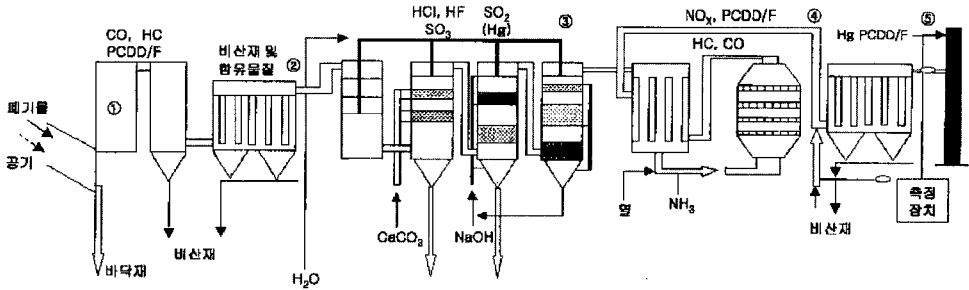
이때 저공해를 위한 연소실의 조건은 연소실내의 대류나 복사열을 최대한으로 활용하여 효율적 건조와 연소가스가 잘 혼합하여 연소실의 온도분포가 일정해야 한다. 1차 연소실의 연소가스 체류시간을 2초 이상으로 유지하되 연소실의 평균온도는 850°C 이상으로 유지한다. 2차 공기 주입 속도는 50 m/s 이상으로 하면서 연소가스의 혼합이 잘 되도록 하고 완전연소가 가능하게 한다. 연소실의 열부하는 150~200(Mcal/m³h)로 유지하며 연소실 벽면은 멤브레인 수관벽으로 하고, 높이 약 10m까지는 급냉을 방지하기 위해 SIC90으로 피복한다. 또한, 연소가스의 유동과 온도 등은 2차 오염물질 생성 정도에 의해 제어하도록 한다. 이상의 조건을 맞추어 설계하면 아래 Fig. 6과 같은 결과를 얻을 수 있다.

3. 폐기물 처리 신기술

저공해 소각 시스템이 구성되어 현재 폐기물처리의 주축을 이루고 있으나 경제 발전과 환경에 대한 인식, 재활용을 위한 분리수거율 향상 등으로 인하여 폐기물의 발열량이 점차 증가되고 있는 실정이다. 따라서 높은 발열량을 이용한 에너지의 효율적 이용에 대한 요구와 소각로에서 필수적으로 수반되는 중금속 ash 문제, dioxin의 저감문제 등을 보다 효과적으로 처리하는 방



Fig. 5. 저공해 소각로의 개념



소각에 의한 오염물질	①연소실	②1차필터	③청정기	④복합촉매	⑤2차필터	환경규제
분진	3,000 - 15,000	< 10	< 5	< 5	< 1	10
중금속 (Cd, Ti)	0.5 - 1.5	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.005	0.05
(Hg)	0.2 - 1	< 0.1	< 0.2	< 0.2	< 0.01	0.05
(As-V)	50 - 200	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.05	0.5
HCl	500 - 3,000	500 - 3,000	< 10	< 10	< 5	10
HF	50 - 500	50 - 500	< 1	< 1	< 0.5	1
SO ₂	300 - 1,500	300 - 1,500	< 30	< 30	< 5	50
NO _x	250 - 750	250 - 750	< 750	< 100	< 100	200
ΣHC	5 - 25	5 - 25	< 25	< 1	< 1	10
ΣTE PCDD/F(ng/Nm ³)	1 - 30	< 5	< 5	< 0.05	< 0.01	0.05

Fig. 6. 저공해 최적 소각 시스템

법에 대한 연구가 끊임없이 지속되어 왔다. 여기에서는 최근에 가장 현실적으로 접근되고 있는 열분해시스템, 열분해용융시스템, 열분해가스화용융시스템의 대표적인 설비에 관하여 기술하였다.

3.1. 열분해 시스템

열분해 소각로란 1차 연소실에서 대부분의 연소 공기(100% 이상)의 주입과 동시에 대부분의 연소가 이루어지는 스토커(화격자) 소각로와는 달리 1차 열분해 연소실에서 필요 공기의 30~50%의 적은 연소 공기를 주입하여 잔류탄소를 연소시키고 이때 발생하는 열을 이용 쓰레기를 건조, 건류 열분해를 시키며 이때 발생한 열분해 가스를 2차 연소실에서 연소시킴으로서 그을음이나 악취 등이 없이 완전연소화가 가능한 친환경적 소각로이다. 이 소각로의 장점은 완전연소에 의해 다이옥신 등의 발생 및 재생성이 적고 발생하는 분진이나 카본블랙(화격자식 경우: 3,000~10,000 mg/Nm³, 열분해식: 200~600 mg/Nm³) 등의 형성이 최소화되기 때문에 제2차 오염 문제가 가장 적은 시스템이다. 그러므로 이 시스템은 지역환경오염이 최소화됨은 물론 운전비용이 저렴한 특징이 있다.

열분해장치의 내부구조는 소각로와 형식이 동일하며,

단지 산소의 공급유무와 기질성유지 여부에만 차이가 있다. 그 형식을 고정상(fixed), 유동상(fluidized bed), 부유상태(suspension) 등의 장치로 나누어진다. 고정상 열분해 장치는 상부로부터 분쇄되었거나 또는 파쇄되지 않은 폐기물이 주입되어 건조된 후 열분해되어 slag나 재가 하부로 배출된다. 가스의 상승속도는 0.2~0.6 m/hr로 체류시간이 비교적 길다. 유동상 열분해 장치는 고정상과 부유상태의 열분해 장치의 중간단계로 반응속도가 빠르기 때문에 폐기물의 수분함량의 변화에도 큰 문제없이 운전되는 장점을 가져왔으나 열손실이 크며 운전이 까다로운 것이 결점으로 알려지고 있다. 부유 상태의 열분해 장치는 가장 최근에 개발된 것으로 어떠한 종류의 폐기물도 열분해시키는 장점을 가지고 있으나, 투입되는 폐기물의 크기가 작아야 하며 또한 유입량이 크지 못한 단점을 가지고 있다. Table 1에 열분해와 소각의 차이를 정리하였다.

3.2. 열분해 용융 시스템

3.2.1. Shaft형 열분해 용융 설비

Fig. 7에 shaft 형 가스화 용융기술에 의한 직접 용융·자원화 시스템의 기본 flow를 나타내었다. 용융로 본체는 세로형 shaft이며 로의 중앙 상부에서 용융대상

Table 1. 소각처리와 열분해기술의 차이

항목	열분해	소각
열이동	흡열반응	발열반응
물리·화학적 반응형태	분해 (저산소)	연소 (산소공급)
송풍량 및 배기가스	무산소 및 저산소이므로 공기송풍이 최소화되며, 공기순환 및 연료 이송들을 위한 최소공기량 필요, 배기량이 적음	완전연소를 위한 이론공기량 이상의 공기공급이 필요하므로 송풍량에 비례하여 배기가스량이 많음
장치의 형태	밀폐형	개방형
에너지회수방법	기름 및 가스상의 연료	폐열회수에 의한 지역난방 및 발전
2차오염	배기가스의 오염농도가 낮음 그러나 중금속등이 분해잔사에 잔류	다이옥신, 중금속등의 2차오염물질에 대한 우려
에너지 공급방법	폐기를 분해에 의해 발생하는 유류 및 가스와 보조연료	폐기물의 연소에 의한 자체 발생열 및 보조연료
유지관리	무산소 및 저산소 분위기 유지를 위한 기술필요	현재 이용되는 소각시설에 대한 기술축적

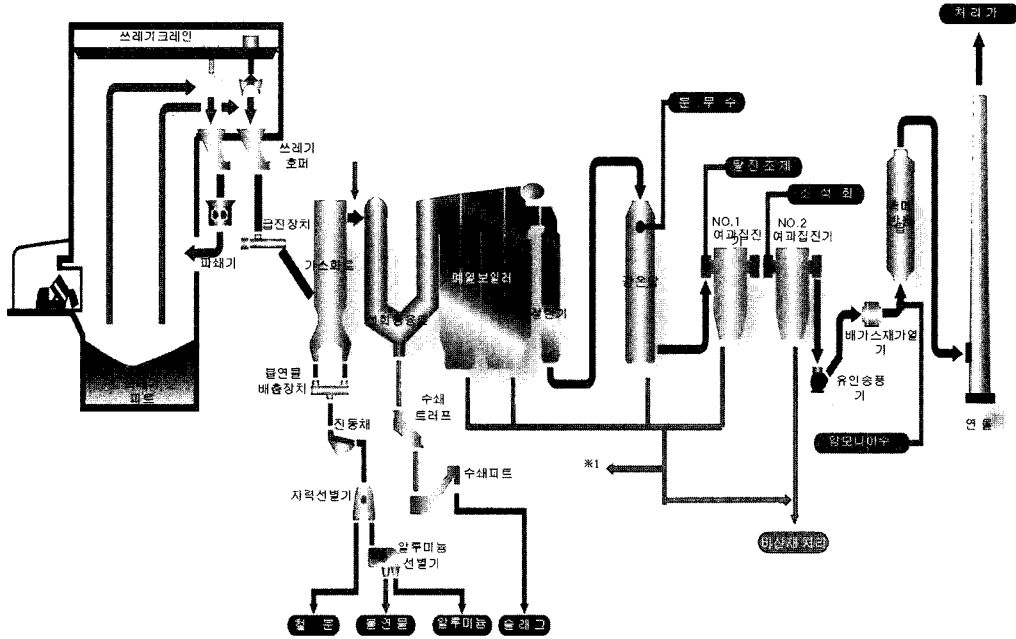


Fig. 7. 직접용융·자원화 시스템

물(폐기물), 코크스 및 석회석을 투입한다. 로내는 상부로부터 건조·예열대(약300°C), 열분해가스화대(300~1,000°C), 연소·용융대(1,700~1,800°C)로 구분된다. 건조 예열대에서는 폐기물이 가열되어 수분이 증발한다. 이렇게 건조된 폐기물은 점차 강하여 열분해 가스화대에서 가연분이 가스화 된다.

이 열분해 가스는 노 상부에서 배출되어 후단의 연소실에서 완전히 연소된다. 이후 폐열보일러 등의 열회수 시스템에 의해 에너지의 유효활용이 이루어진다. 가스화되지 않고 남은 재는 코크스와 함께 연소·용융대로

강해한다. 코크스는 날개구로부터 공급되는 공기에 의해 연소되어 고온고열을 내고 이 열에 의해 재가 완전히 용융된다. 용융물은 투입된 석회석 중의 CaO에 의해 염기도가 조정되고 유동성을 높인 후 출탕구를 통해 배출되며, 다시 수조에 투입하여 급냉 시킴으로써 형성된 작은 입자 모양의 슬래그와 철(iron)을 자선기에서 분리회수하면 유용하게 이용된다.

3.2.2. 로타리킬른형 열분해용융시스템

로타리킬른형 열분해용융시스템의 대표적인 프로세스

를 Fig. 8에 나타내었다. 로타리킬른에 폐유버너, 조연버너, 폐액 분무 노즐이 있어 투입쓰레기의 발생열량에 따라 폐유의 연소량이 자동제어되어 내부의 온도를 1,100~1,300°C로 유지한다.

입구 측으로부터 효율을 높이기 위해 예열공기가 공급

되어, 고힘폐기물은 로타리 킬른에 투입된 직후에 바로 연소를 개시한다. 로타리 킬른의 중간지점까지 거의 모든 고힘폐기물은 연소되고 불연분이 용융되기 시작한다.

폐가스 처리방식으로는 석회석 불어넣기와 bag filter의 조합에 의한 건식가스처리시스템이 일반적이다. 한

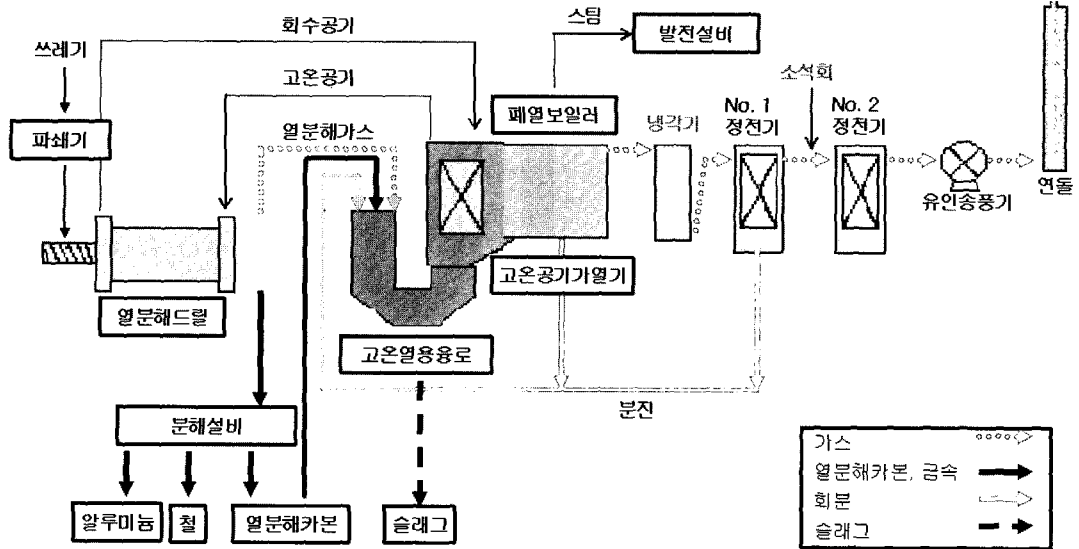


Fig 8. 로타리 킬른형 열분해용융시스템의 공정도

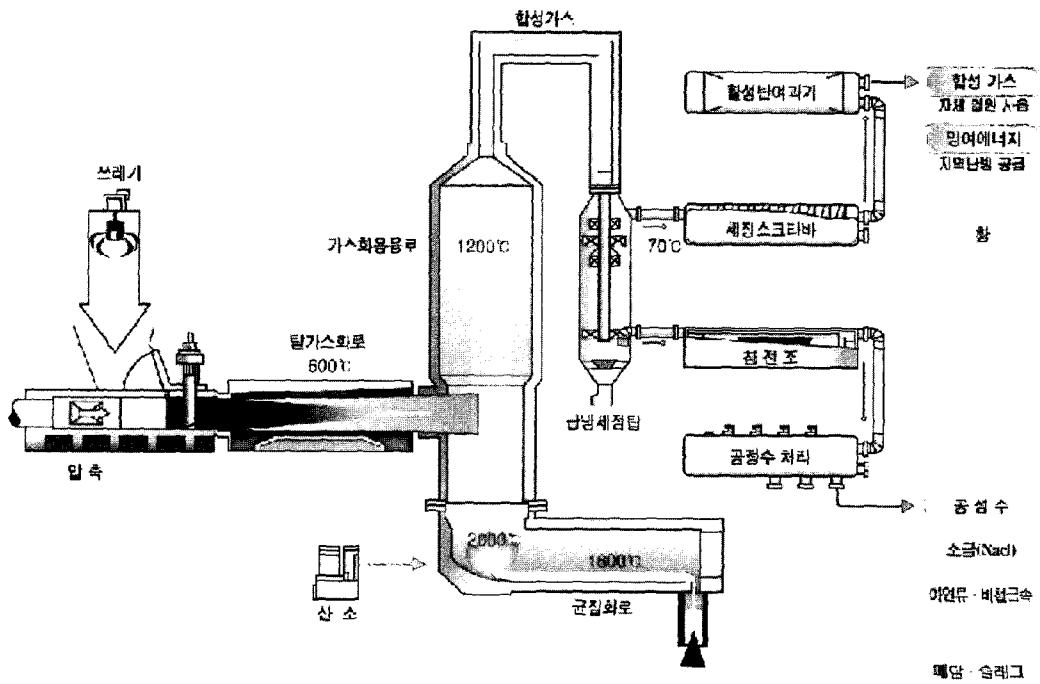


Fig. 9. TS식 열분해 가스화 용융시스템

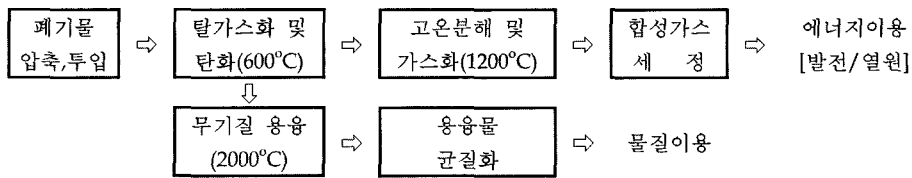


Fig. 10. TS식 열분해용융시스템의 처리 공정도 (출처 : 한림연구보고서, 2000)

편 집진을 전기집진기에서, 산성가스의 제거는 습식스 크러버에서, 다이옥신류의 제거를 활성탄 흡착탑으로 행하는 단일 조작의 조합으로 적절하게 처리할 수 있는 장점을 지니고 있다.

반응로는 제작사의 고유한 기술로 토치의 소요전력 값이 적을수록 유리하며 폐기물의 성분(탄소분 함량)과 가스화시 주입물질(스팀, 공기, 부화산소)에 따라 다소 차이는 있으나 소요전력은 대략 0.5~1.2 kW/kg 정도이다.

3.3. 열분해 가스화 용융 시스템

TS식 열분해 용융기술은 Thermoselect사에서 개발한 것으로 폐기물을 무산소상태에서 간접가열하여 탄화시키면서 water gas를 생성하는 석탄전류의 원리를 쓰레기처리에 응용한 기술로서 이 시설의 개념도는 Fig. 9와 같다.

이 공정은 Fig. 10에서 보여주는 바와 같이 폐기물의 압축, 탈가스화, 고온가스화, 용융의 4단계로 구성되어 있다.

폐기물을 약 1,000톤의 유압프레스에 의해 고압으로 압축하여 탈가스 채널(channel)이 밀폐되도록 하여 로터리킬른 입구에서 100~200°C로 가열한 다음 가스화반응으로 들어가기 전까지 600°C로 하여 탈가스화시키고 고온 열분해로 합성가스를 생성한다. 이 합성가스는 발전 또는 자체 에너지로 사용하게 된다. 탈가스 채널과 고온반응로는 직접 연결되어 있으며 반응로 하부에서는 탄화물과 무기물이 고농도의 산소와 반응하여 2,000°C 이상에서 용융되고, 무기물은 균질화로서 안정화된다. 합성가스는 1,200°C의 고온에서 처리되기 때문에 다이옥신류를 비롯한 각종 유해가스가 완전분해되며 이 합성가스는 70°C이하로 급속 냉각시켜 다이옥신 등 유해물질이 재합성되는 것을 방지할 수 있도록 한다.

4. 맺음말

폐기물의 열분해 용융소각기술은 폐기물의 완전처리를 위한 기술로서 인정을 받고, 해외 선진국들은 환경보호와 환경산업시장에서의 기술 선점을 위하여 활발한

연구개발을 이루고 있는 실정이다. 상용화설비의 건설로 인하여 기술의 검증을 이루고 있는 시점이나 아직은 개발단계에 놓여 있으며 보급율이 낮은 편이다. 이러한 세계시장의 흐름을 볼 때 현재 국내에서도 공정의 개선과 특성을 기반으로 하여 국내발생 폐기물의 적합한 신기술을 개발하여야 할 때이며, 근시일 내에 열분해용융소각기술의 가시화가 이루어질 날이 올 것으로 판단된다. 폐기물을 처리하는데 있어서 경제적인 면을 강조하여 본다면 운송비와 소각후의 재의 처리가 중요하다. 폐기물을 운송하는데 있어서 도시의 외곽에 입지를 선정한다면 무엇보다도 막대한 폐기물 운송비용을 지출해야 한다. 다시 말해서, 폐기물을 처리하는데 있어서 가장 효율적인 장소는 바로 도심지라는 것이다. 이러한 효율적인 장소를 정하는데 있어서도 지역주민들의 반발이나 님비현상이 발생할 수도 있다. 그러한 것을 해소하기 위한 기술이 바로 신기술이 될 것이다.

참고문헌

1. 石川禎昭, 2001: 最尖端 廢棄物處理 熔融技術, (株)日報
2. 반봉찬, 박현서, 1996: 폐기물 처리를 위한 용융기술(슬래그의 구조), 월간폐기물, 94-99.
3. 반봉찬, 박현서, 1996: 폐기물 처리를 위한 용융기술(폐기물처리 용융로의 종류와 특성), 월간폐기물, 110-116.
4. 고윤화, 1997: 소각장 배출 다이옥신 규제방안, 한미 폐기물 소각 및 다이옥신 제거기술 세미나 proceeding, (사)한국폐기물학회, 57-79.
5. 박현서, 윤오섭, 2001: 병원폐기물 처리 plasma system 개발연구, 폐기물학회지, 18(3), 257p.

金 成 中

• 현재 인천대학교 안전공학과 교수

朴 賢 緒

• 현재 전주대학교 환경시스템학과 교수