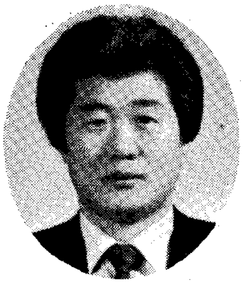
각종 폐기물의 재활용 (3)



도 갑 수
(숭실대학교 교수, 공학박사, 기술사)

차 례

1. 폐기물 활용의 포텐셜
2. 유가 폐기물의 회수 및 재활용
3. 소각을 통한 열 회수
4. 퇴비화 가스 및 매립지 가스의 이용
5. 결 론

3. 소각을 통한 열회수

각 종 폐기물은 전 보에서 언급한 바와 같이 발생원이나 수거과정에서 유가 폐기물의 일부가 회수되고, 그 나머지는 최종 처리·처분지로 보내지게 된다.

최종 처리·처분법으로는 매립, 소각, 퇴비화, 고체 연료화, 가스화등 여러가지 방법이 있으나 기술이나 경제성 및 폐기물 양상에 따라 그 이용도가 다르다.

현재 우리나라에서는 일반 폐기물의 약93%를 매립에 의존하고 있고, 불과 5%만을 소각할 뿐만아니라, 이들도 대부분이 소규모의 open burning이고, 대형 소각로는 의정부(50톤/일, 1983.12~1984.12, 스토카식)와 목동(150톤/일,1984.12~1986.6, 스토카식, 열회수 시스템)에만 가동 중 일 따름이다.

최근 스위스, 일본, 싱가폴등에서는 매립지의 부족과 매립상의 각종 문제의 해결 책으로 폐기물의 감량화 및 안정화를 위한 소각에 크게 의존하고 있으며 더욱 발생되는 에너지를 회수하고, Clinker를 여러가지 목적으로 재활용하므로 그 경제성도 누리고 있다. 우리나라에서도 이미 대구시의 200톤/일 규모의 소각장과 성남시의 100톤/일 규모의 소각장 건설을 위한 기초 조사를 마치고 건설 단계에 있으며, 서울시의 도봉구와 강동구에 각 600톤/일 규모의 대형 소각장 건설을 위한 타당성 조사를 금년 중에 마칠 예정으로 진행 중에 있다.

소각장을 설계 하는 데 가장 중요한 자료는 폐기물의 양상이다. 즉, 폐기물이 휘발성 연

〈표 9〉 각 국의 일반 폐기물 처리 현황(%)

방법 \ 국가	일 본	싱가폴	미 국	독 일	한 국	스위스
매 립	34	22	85	67	93	16
소 각	65	67	10	30	5	77
퇴 비	10	1 (퇴비·기타 신기술 합계)	3	2	2 (퇴비·기타 신기술 합계)	5
기타 신기술	1		2	1		2

소성분의 함량이 높고, 수분 함량이 낮으며, 발열량이 클 수록 유리하다. 그러나 가연성 성분 중에는 종이류, 플라스틱류, 섬유류, 목재류등 유가 성분이 대부분이므로 이들을 모두 회수하면 실제 소각은 불가능하게 된다. 따라서 설계에 앞서 가연성 성분과 불연성 성분의 분리와 가연성 성분중 유가 성분의 회수에 대한 충분한 고려가 있어야 한다. 특히 우리 나라에서는 유가 성분의 회수와 소각 두 상반되는 양자를 동시에 행할 필요가 있으므로 이 점에 대한 충분한 주의가 없으면 운영상에 많은 애로가 따르게 된다.

직접 소각로 설계에 사용되는 폐기물의 발열량은 노의 연소 가스가 고온(230℃ 이상)이므로 저발열량(Lower Heating Value, LHV,H_2O (Vapor)을 사용한다. 이는 Bomb Calorimeter를 사용하여 정용 열량 즉 내부에너지 변화(ΔU)를 측정하고, 이를 정압열량 즉, 엔탈피 변화(ΔH)로 환산하여 다시 LHV로 나타내나, 이들 과정은 복잡하므로 시성 분석치나 성분 분석치를 이용한 간단한 추산식을 사용하는 것이 보다 편리하다. 단, 이들 추산식을 활용할 때에는 폐기물의 성상에 따라 이들 식이 달라질 수 있다는 것을 명심하여야 한다. 현재 활용되고 있는 몇 개의 추산식을 소개하면 다음과 같다.

$LHV = 4,500V - 600W$ 〔kcal/kg〕 ……………………… (1)

$LHV = 4,500V_1 + 8,000V_2 - 600W$ (kcal/kg〕 ……………(2)

$LHV = 8,820P_i + 4,500(P_a + P_g) - 600W$ 〔kcal/kg〕 …… (3)

$LHV = 4,500V_c + 9,500V_P - 600W$ 〔kcal/kg〕 ……………(4)

$LHV = 7,260P_i + 2,980P_a + 640P_g + 4,000P_c - 600W$ 〔kcal/kg〕 ……………………… (5)

여기에서

V = 생 쓰레기 중의 휘발성 고형분(V.S.) 함량 〔kg/kgSW〕

W = 생 쓰레기 중의 수분 함량 〔kg/kgSW〕

$V_1(V_c)$ = 생 쓰레기 중의 플라스틱을 제외한 V.S. 함량 〔kg/kgSW〕

$V_2(V_P)$ = 생 쓰레기 중의 플라스틱의 V.S. 함량〔kg/kgSW〕

P_i = 생 쓰레기 중의 플라스틱의 함량〔kg/kgSW〕

P_a = 생 쓰레기 중의 종이류의 함량〔kg/kgSW〕

P_g = 생 쓰레기 중의 주개류의 함량〔kg/kgSW〕

P_c = 생 쓰레기 중의 기타 성분의 함량〔kg/kgSW〕

(1), (2), (3)식은 일본에서 제안된 식으로 일본에서는 잘 성립하나 우리나라 폐기물에는 잘 성립하지 않음을 알았다. (4), (5)식은 필자가 1년간의 일반 폐기물의 성분 분석, 시성분석, 열량 분석을 통하여 얻은 식으로 추산치와 실측치와 잘 일치함을 확인하였다.

필자의 일반 폐기물 발생원(아파트)에서의 월 별 평균 발열량 변화를 조사한 결과에 의하면 년 평균 발열량 1,960Kc-al/Kg (최저 : 7 월 1,150Kcal/kg, 최대 : 1 월, 2,600Kcal/Kg)로 상당히 양질이였으나, 발생원에서 종이류를 회수(87% 회수율)할 경우에는 평균 1,500 Kcal/Kg (최저 : 7 월, 705Kcal/Kg, 최대 : 6 월, 2,000Kcal/Kg로 약 25% 감소하였다.

우리나라의 일반 폐기물의 발열량이 높은 이유 중의 하나는 각 종 포장제의 이용이 넓어지므로 이에 따라 플라스틱의 함량이 많아졌기 때문이다. 플라스틱만의 발열량이 차지하는 비중을 보면 1Kg의 일반 폐기물당 평균 705Kcal나 되어 종이류의 회수 후에는 전체 열량의 47%나 차지하는 셈이 된다. 만약 유가물로 플라스틱을 50% 회수한다면 1,100Kcal/Kg 이하로 떨어지고, 또 기타 가죽이나 섬유류의 일부가 회수되고, 수송과정에서 상당한 량의 수분이 포함된다면 소각장에 들어가는 폐기물은 1,000Kcal/Kg이하의 저질 쓰레기가 되고 말 것이다.

소각장에서는 발열량이 적합하더라도 소각로의 형식에 따라 연소 효율이 달라질 수 있다. 가장 이상적인 소각로는 적당한 연소 조건 즉, temperat-

ure, turbulence. time (3T)을 유지하여 연소 효율을 올리고, 조작이 간편하며, 유지 관리가 쉽고 내구성이며, 시설비가 저렴한 것이다.

소각로의 형식은 크게 스토카식, 유동상식, 회전식으로 나눌 수 있고, 이들 각각의 특징은 〈표10〉과 같다.

소각장에서 반드시 고려해야 할 설비는 대기 오염 방지 시설이다. 대기 오염물로는 부유분진, 질소 산화물, 유황 산화물 및 염화수소와 목재나 가공품의 저온 연소시에 발생하기 쉬운 Dioxin등이 있다.

특히 염화수소는 PVC등 염소 유도체 합성 수지를 연소할 때 발생 하는 것으로 점차 플라스틱의 사용량이 많아지는 추세이므로 이의 제거에 각별한 주의를 하여야 한다. 최근 유동상 소각로는 노 내에서 건식으로 탄산칼슘과 함께 반응시켜 Clinker와 함께 제거시키므로 상당히 편리하다. Stoker 식이나 회전식에서는 별도로 건식이나 습식법에 의해 제거시킨다.(울산지역 특별 대책지역 소각시설 배출 기준으로 HCl 100 ppm [(CO_2 12%기준) 이하임 (환경청 고시, 87, 2, 3)] 극히 미량이라도 인체에 영향을 미치는

〈표 10〉 연소 형식에 따른 소각로 비교

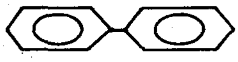
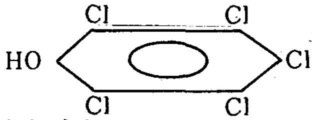
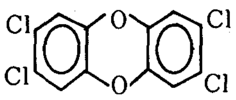
연소 형식 / 비교	Stocker type (기계식)	Fluidized Bed type (유동상식)	Rotary Kiln type (회전식)
1. 소각로 구조	화격자 구동방식	유동상 방식	회전 연소 방식
2. 쓰레기 성상변화	Spotting현상(플라스틱 과대)	대응력이 양호	대응력이 양호(수분 65%까지)
3. 건설비	보 통	약간 높음	보 통
200ton/day (백만원)	10,350	16,320	11,980
4. 유지관리비	저렴(전처리 불필요, 단순)	비싸다(파쇄기, 송풍기, 집진기 등)	저 렴
5. 운전 조작	간단하다. 냉간시동에는 48시간 소요	용이하다. 냉간시동에는 24시간 소요	용이하다. 냉간시동에는 4~5시간 소요
6. 소각로의 적정 규모	200~400T/D	50~150T/D	200~500T/D
7. 쓰레기투입장치	크레인, 홉파, 풋셔공급기	크레인, 홉파, 파쇄분리기, 정량공급기	크레인, 홉파, 램공급기
8. 연소 용량	300~350kg/m²·h	450kg/m²·h	370kg/m²·h
9. Clinker발생	발 생	발생되지 않음	발생되지 않음
10. 감용율	85~92%	94~96%	90% 이상
11. 과잉공기비	1.5~2.5	1.2~1.8	1.5
12. 실적(일본)	95%	5%	-
13. 최대 규모	1,200T/D (400T/D×3기)	450T/D (150T/D×3기)	1,344T/D (488T/D×3기) (미국)
14. 시스템	Von Roll(왕복화격자) Martin (역왕복화격자) VKW (회전드럼화격자) W&E (수평화격자) Volund indmen & Ernst		O′Connor

Dioxin(TCDD)은 PCB나 PCP등 염소 유도체를 저온(1,000℃이하) 연소 시에 발생하는 물질로 〈표11〉에 나타난 바와 같이 여러 종의 유도체에 의하여 여러가지 형태의 Dioxin이 생성되므로 분석하기도 상당히 어렵다. 특히 Stoker형 소각노는 체류시간이 길고, 노내 온도가 1,000℃ 이하 이므로 Dioxin 생성 조건에 알맞다. Dioxin의 특수한 제거방법은 아직 잘 알려져 있지 않고, 다만 온도 1,200℃의 고온에서 연소시켜 완전 분해시키는 것이 바람직하다.

일반 폐기물의 소각과 더불어 열회수 시스템을 겸비하므로 경제적인 운영을 기할 수 있다. 열회수 시스템에는 Steam을 발생시는 전량 발전에 사용하는 경우, Steam을 난방이나 급탕등 여열을 이용하는 경우 및 발전과 여열 이용을 겸용하는 경우가 있다. 폐기물 ton당 경비 비가 단순소각 : 소각+Steam이용 : 소각+발전=1.09 : 1.00 : 1.27 이므로 발전을 고려할 경우는 신중히 검토하여야한다.

열회수 시스템을 갖춘 폐기물 소각장의 공정도는 〈그림2〉와 같고, 이들 각 과정의 설계상 알아야 할 기본 지침을 스토카식을 기준으로 〈표12〉에 요약하였다.

〈표 11〉 PCB, PCP 및 Dioxin의 특성

화학명	성상	용도	유의사항
Poly chlorinated biphenyl(PCB)	 Cl 치환수 2~5 Cl수 적은 경우-무색투명유상 Cl수 큰 경우-백색 결정상 난연성, 비폭발성, 내산화성	절연유 (트렌스, 컨덴서) 열매체 윤활유 가소제 도료 복사지 등	○평균 0.15mg/m³ 이하 (액상소각시설 0.10mg/m³ 이하) ○국내 생산 불가 ○수입 제한 품명 ○1,300℃에서 100%분해
Pentachlorophe-nol (PCP)	 백색 침상 결정 융점 190.2℃ 비휘발성, 안전성	목재 방부제 제초제 살균제	○0.003mg/ℓ 이하 ○국내 생산 및 판매금지 ○소각시 dioxin 생성 ○1,100℃ 이상 유지 분해 무해
Tetrachloro dibenzo-P-dioxin(Dioxin)	 TCDD(가장 대표적) PCDD(Cl - 5개) HCDD(Cl - 6개)		○저온 소각에서 발생 ○DDT의 10,000배 독성

-다음호에 계속-