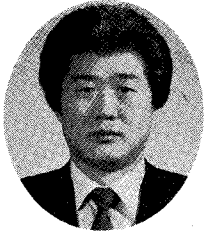


각종 폐기물의 재활용

(네번째)



도 갑 수
(숭실대학교 교수, 공학박사, 기술사)

차 례

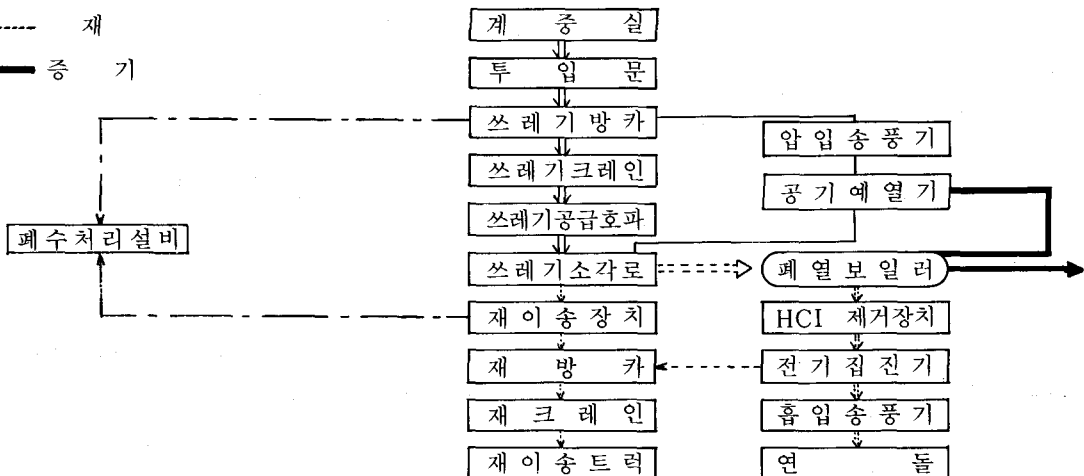
1. 폐기물 활용의 포텐셜
2. 유가 폐기물의 회수 및 재활용
3. 소각을 통한 열 회수
4. 퇴비 및 매립지 가스
5. 결 론

3. 소각을 통한 열회수

열회수 시스템을 갖춘 폐기물 소각장의 공정도는 <그림 2>와 같고, 이들 각 과정의 실제상 알아야 할 기본 지침을 스토카식을 기준으로 <표12>에 요약하였다.

- ← 쓰레기
- ← 공기
- ← 연소가스
- ← 폐수
- ← 재
- ← 증기

<그림 2> 폐기물 소각장의 공정도(열회수 시스템)



〈표 12〉 소각장 설계 기본 지침 (스토카식)

구 분	설 계 조 건	비 고
쓰레기 저장시설 및 투입설비	용량 2 - 3 일분 1 주일분(소규모) 크레인, 흡파, 풋서공급기	쓰레기 성상 가연성 C%, 수분 W% 불연성 I %, LHV(NCV) kcal/kg 처리량 R T/D
소각로	1 차로 700~1,000℃ 2 차로 600~1,000℃	건조, 휘발 및 발화 잔여 고형물 및 가스 산화
소각로 화격 자(grade)	grade 면적 : loading factor 300 - 350kg/ m ² ·h air opening : grate 면적의 2 - 30%	고온, 열 충격, 과적 및 slagging에 대한 저항력이 클 것.
공기공급	이론공기량 = $6.2616 \times \frac{C}{100} \times R \text{ Nm}^3/\text{h}$ 과잉공기% = 83% (벽노 = 50~100%) 실제공기량 = $6.2616 \times 1.83 \times \frac{C}{100} \times R \text{ Nm}^3/\text{h}$ 1 차공기 = 94% (128℃ 예열) 2 차공기 = 6% (38℃ 예열)	6.2616 = 경험치 (cellulose 경우 = 3.95) 배기가스 중 O ₂ (≤ 8%) 및 CO ₂ (≤ 12%) 공기 온도 변화 : 27℃ → 1650℃ (불꽃) 760 - 1,000℃ (소각로 내부) < 540℃ (굴뚝) < 260℃ ~ 370℃ (대기오염방지시설)
배기가스	Flue gas G = G _{CO₂} + H ₂ O + G _{N₂} + G _{O₂} 조성 CO ₂ = 7.5%, H ₂ O = 18.3% N ₂ = 66.2%, O ₂ = 8.0%	$G_{CO_2} = 1.0255 \times \frac{C}{100} \times R \text{ Nm}^3/\text{h}$ $G_{H_2O} = 0.9510 \times \frac{C}{100} \times R + \frac{22.4}{18} \times \frac{W}{100} \times 1$ $G_{N_2} = 6.2616 \times \frac{C}{100} \times 1.83 \times R \times 0.79$ $G_{O_2} = 1.3149 \times \frac{C}{100} \times R \times (1.83 - 1)$
연 돌 (stacks)	소각노 내에 부압이 걸리도록 하며 대기오염 을 고려한 높이 $D_t = 3.4 \times 10^{-2} P_b H_s \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_s} \right)$ (D _t = 7.4~9.8 × 10 ⁻⁴ atm) 1~10T/h	D _t = 이론 draft [atm] P _b = 대기압 [atm] H _s = 연돌 높이 [m] T _o = 대기 온도 [K] T _s = gas의 연돌 입구 온도 [K]
잔재 및 잔재 배출 설비	소각 효율 추정 $E = 100 \left(1 - \frac{V_r}{V_f} \right) \%$	V _f = 폐기물 중 가연성 성분 $\left(\frac{\text{mass}}{\text{time}} \right)$ V _r = 잔재 중 가연성 성분 $\left(\frac{\text{mass}}{\text{time}} \right)$ 벽돌, 인도블록 및 건물충전제, 매립제 이용
열회수시스템	소각로 ○ 열입량 쓰레기 NCV × R kcal/h 예열공기 1 차공기(128℃) 2 차공기(38℃)	Specific enthalpy 40kcal/Nm ³ 128℃ 38℃ 11.8kcal/Nm ³

구 분	설 계 조 건	비 계 고
	○열출량 $Ash(650^{\circ}C) = 650 \times 0.4 \times \frac{I}{100} \times R$ 열손실(복사 열손실 5%) 불완전연소(5~10%) 배기가스 손실(890°C)	Specific heat 0.4kcal/kg. °C Specific enthalpy 320kcal/Nm ³
	보일러의 열전달 $Q_1 = \text{열입량} - \text{열출량}$ 보일러 ○열입량 배기가스 손실(890°C) ○열출량 배기가스 손실(230°C) Economizer 출구 손실	Specific enthalpy 78kcal/Nm ³
	보일러로의 추가 열전달 $Q_2 = \text{열입량} - \text{열출량}$ 총 보일러의 열전달 $Q = Q_1 + Q_2$ Steam 발생 $S = \frac{Q}{\lambda}$	λ : latent heat of steam
발 전	복수터어빈 $KW = \frac{Q}{3,000 \sim 4,000 \text{kcal/KW} \cdot \text{h}}$	3,000~4,000kcal/KWH

산업 폐기물의 처리·처분에서의 소각은 현재 637톤/일(2%)에 불과하며, 이 중에 541톤/일은 일반 산업 폐기물이고 96톤/일만이 특정 산업 폐기물이다. 특정 산업 폐기물의 소각은 열회수 보다 무해화에 맞게 설계되어야 한다. 따라서 소각로의 형식도 multiple hearth furnace 나 rotary type turnace가 추천된다.

환경청에서도 유독성 산업폐기물의 심각성을 인식하여 수도권인 화성에서 1일 60톤 규모의 처리장('85. 12~'87. 6, 소각로 3톤/일×2기)을 건설하여 가동 중에 있으며, 영남권인 온산에 100톤/일 처리능력의 시설('86. 12~'88. 11, 소각로 45톤/일)과 호남권의 1개 시설을 계획 중에 있다.

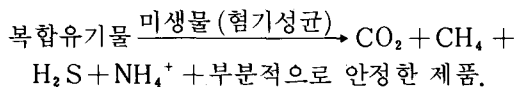
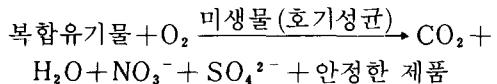
앞으로도 일반 폐기물이나 산업 폐기물의 소각 및 열회수를 위한 소각장 건설이 더욱 추진될 전망이므로 이에 앞서 각종 폐기물의 성상에 대한 조사와 소각로 형식의 타당성 및 대기오염

방지시설, 열회수 시스템의 최적화 등에 관한 많은 연구가 선행되어야 하겠다.

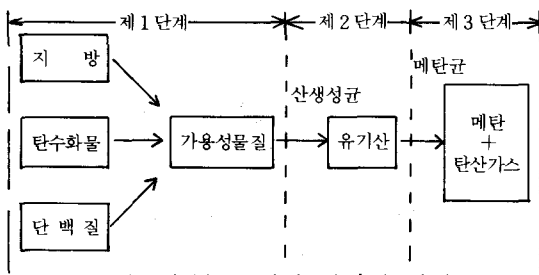
4. 퇴비 및 매립지 가스

도시 고형 폐기물은 75%이상의 유기물을 함유하고 있어 앞서 설명한 소각에 의한 열회수도 가능하지만 생화학적 공정(biochemical process)에 의한 물질회수도 상당한 포텐셜을 가지고 있다. 이 생화학적 공정으로 혐기성소화, 퇴비화, 효소반응 및 가수분해반응 등을 고려할 수 있으나, 여기서는 앞의 두가지 방법만 설명하겠다.

이들의 기본 원리는 비슷하다. 유기물이 호기성 조건이나 혐기성 조건에서 아래와 같이 분해가 일어난다.



호기성이나 혐기성 퇴비화 (composting) 과정에서 남은 고체는 퇴비로 유기질 비료나 토지개량제 (soil conditioner)로 사용되고, 혐기성 퇴비화 과정에서 얻어지는 메탄가스를 함유한 biogas (CH₄ : 60~70%, CO₂ : 30~40%) 는 기체 연료로 사용할 수 있다. 혐기성 퇴비화 과정은 <그림 3>와 같이 폐기물 중 유기물의 주 성분인 탄수화물, 단백질, 지방이 각종 혐기성균에 의하여 3 단계를 거쳐 CO₂와 CH₄가 발생하고 퇴비화된다.



<그림 3> 혐기성 퇴비화 단계

이들 퇴비화의 주요인자는 pH, 온도, C/N 비, 원료체류시간이다.

유기물을 혐기성으로 처리하면 초기에는 발효산에 의하여 pH가 감소하였다가 시일이 경과함에 따라 다시 pH가 상승한다. pH가 7.5근방이 되면 혐기성 분해가 가장 이상적이므로 유기물의 투입을 연속적으로 하여 pH의 변화를 적게 하고 가스 생성량을 균일하게 할 수 있다. 초기의 가스에는 탄산가스가 많고 메탄 함량이 적어 잘 연소하지 않으나 시일이 경과함에 따라 정상 상태가 되어 메탄함량도 60~70% (발열량 = 1,233kcal/m³ (N))가 되어 직접 연료로 사용 가능하게 된다.

퇴비화에 관여하는 균에는 반응온도에 따라 중온균 (mesophilic, 30~35°C) 과 고온균 (thermophilic, 45~55°C)이 있으며, 가스 발생량과 유기물의 감소량은 온도에 거의 비례하여 증가한다.

원료의 체류시간 (retention time)은 시설의 크기를 정하는 중요한 인자로 고온에는 짧고, 중온에서는 길어야 유기물의 분해가 잘 되어 가스의 발생도 증가한다. 일반적으로 고온발효인 경우 분뇨는 약10일, 하수 슬러지는 약 20-30일 도시 폐기물은 약 35일이 소요된다. 호기성 퇴비화인 경우 퇴비단 공법 (Windrow composting system)에서는 약 5일간 소화를 시킨후 수개월동안 부숙 (curing)시켜야 한다.

퇴비화 과정에서 가장 중요한 인자가 C/N비이다. 일반적으로 C/N비가 20 : 1 이 질소가 분해 속도에 영향을 미치지 않는 비로 알려져 있다. C/N비가 80 : 1 이상이면 질소가 분해속도에 크게 영향을 미치므로 고온 퇴비화는 더 이상 일어날 수 없다. 그러나 C/N비가 30 : 1 보다 적으면 질소는 NH₃로 대기중으로 도망가기 쉬우므로 실질적인 C/N비는 질소의 stripping을 막을 수 있는 35 : 1~40 : 1 이 적당하다. 퇴비화에 사용되는 각종 물질의 C/N비를 <표 13>에 나타내었다. C/N비가 너무 크면 분뇨나 하수오니를 혼합하고, 너무 낮으면 첨가제 (bulking agent)로 톱밥이나 나무껍질 등을 혼합한다.

<표 13> 퇴비화에 사용되는 각종 물질의 C/N비

물 질	C/N비
주 개 류	14~16
도시폐기물(NSW, US, A.)	40~60
하수오니	
활성오니	6~8
소화오니	14~16
분 뇨	8~10
야 초(건 초)	40~45
벗 짚, 왕 겨	60~70
나 무 껍 질	100~300
종 이	150~200
톱 밥	300~700