

폐기물 처리기술 개관

신 항 식

Treatment Technology for Solid Waste

Hang-Sik Shin



- 신항식 (한국과학기술원 토목공학과)
- 1948년생
- 폐수로부터의 메탄가스 회수를 전공하였으며, 폐·하수의 고도처리, 난분해성 폐수처리, 유기성 폐기물의 퇴비화 및 메탄발효에 관심을 갖고 있다.

1. 머리말

과학기술의 급속한 발전과 산업화는 경제 발전과 국민생활수준의 향상을 제공하였다. 그러나 이와는 반대급부로 폐기물의 양적인 증가와 질적인 다양화를 초래하였으며, 그로 인한 생태계의 파괴 등 환경오염문제는 인류의 생존을 위협하는 심각한 단계에 이르렀다.

국내에서 발생하는 일반 생활폐기물은 '92년 기준으로 75,096 톤/일이며, 처리방법으로는 매립, 소각, 재활용이 각각 89.2%, 1.5%, 7.9%를 차지하고 있다.⁽¹⁾ 매립에 의한 폐기물의 처분은 점차 감소하고 있는 경향을 보이고 있으나, 아직까지 대부분의 폐기물이 매립에 의해 처분됨으로써, 이에 대한 문제는 사회적, 국가적으로 중요한 관심사로 대두되고 있다. 특히 매립에 의한 최종 처분은 NIMBY 현상 및 지가상승 등으로 인한 매립지 확보난, 그리고 발생하는 2차 오염문제로 인하여 폐기물 처리에 있어서의 새로운 인식전환이 필요한 실정이다.

급격한 성장위주의 정책에서 야기된 폐기물 문제를 해결하기 위해서는 친환경적이면서도 지속적인 개발(ESSD; environmentally sound and sustainable development)이 가능한 사회체제로의 빠른 전환과 그에 따른 전국민적인 의식의 전환이 필요하다. 그리고 이를 바탕으로 ESSD 개념에 기초한 총체적인 폐기물 관리 시스템(integrated waste management system)을 국내실정에 맞게 개발하여 폐기물의 효율적인 관리 및 처리에 응용해야 할 것이다. 이는 다시 말하면 발생원에서의 근본적인 발생량 저감과 재활용을 통한 감량화를 선행한 후 분별 배출 및 수거와 같은 최적의 수거체계확립을 통하여 폐기물 특성에 맞는 다양한 처리기술을 적용하는 것이라 풀이할 수 있다. 실제로, 폐기물은 너무나도 광범위하고 다양한 특성을 지닌 물질들이 혼재된 상태로 배출되기 때문에 한 가지 처리기술만을 적용하기에는 처리시스템의 효율적인 면에서나 비용면에서 무리가 따르기 마련이며, 폐기물 처리에 앞서 우리가 총체적인 관리의 눈을 가져야 함은 바로 이 같은 면에서 중요하다고 하겠다.

이 글에서는 이같은 점에 입각하여 폐기물의 발생에서부터 소각, 열분해, 퇴비화, 매탄발효 등과 같은 중간처리과정과 최종처분 단계에 이르는 전과정에서 그 오염도를 최소화하고 처리효율을 극대화하는 한편 회수가 가능한 자원을 최대한 재활용할 수 있는 방안을 살펴봄으로써 장래 폐기물 처리기술 개발의 방향을 진단해 보고자 한다.

2. 폐기물의 분류

폐기물은 그 분류방법에 따라 다양하게 분류되어진다.^(2,3) 즉, 현행 폐기물 관리법이 규정하고 있는 바와 같이 폐기물을 그 유해성에 따라 특정폐기물과 일반폐기물로 구분할 수 있으며, 폐기물의 물리화학적 특성에 따라서는 유기성 폐기물과 무기성 폐기물로, 또한 폐기물의 처리적 관점에 따라서는 연소성, 불연소성, 재활용성 폐기물 등으로 구분하는 것이 대체적인 분류법이라 하겠다. 이중 현행 폐기물 관리법이 제시하고 있는 유·무해성 기준의 분류체계가 비교적 다양하고 충분한 논의를 거쳐 결정된 것으로서, 인간의 쾌적한 삶을 추구하는 폐기물관리의 기본목표에 가장 충실하고도 적합한 것이라 하겠다. 그러나 이러한 분류상의 난점은 유해성과 무해성의 판단기준이 일관적으로 제

시되기가 어렵다는 점이다. 한편, 배출원을 기준으로 하여 폐기물을 구분할 경우는 산업체에서 발생하는 폐기물이 실질적인 유·무해 정도와는 무관하게 유해한 산업폐기물로 오인될 소지를 내포하고 있어 1991년의 법 개정 이후로는 사용되지 않고 있다.

표 1은 여러 분류법을 요약한 것으로, 앞서 언급했듯이 각종 성분이 혼재된 폐기물을 명확히 구분짓기는 어렵지만, 굳이 폐기물을 세분코자 한다면 표 1과 같이 9개의 범주로 구분할 수 있겠으며, 이같은 분류에 기초하여 각각에 적합한 처리기술을 체계화함이 타당하다 사료된다.

3. 발생원에서의 감량화

폐기물의 발생원에서의 감량화, 즉 클린텍(clean technology)이란 한 마디로 요약하면 보다 효율적인 생산과 보다 적은 오염물질을 배출(better production & less pollutants)하는 기술을 뜻한다. 다시 말해서 물질 및 에너지 절약기술과 오염방제 기술을 지향하는 기술이다. 최근까지의 환경정책은 오염물질이 발생한 후에 이를 처리하는 기술(end of pipe technology)에 의존하여 왔고 이러한 기술의 개발에 중점을 두었다. 그러나 기존의 end of pipe technology는 투자비 및

표 1 폐기물의 분류법

유해성 기준	배출원 기준	처리적 관점 기준			비 고
		재활용성	가연성	난연성	
일반폐기물	가정/사무실	재활용성 생활쓰레기	가연성 생활쓰레기	난연성 생활쓰레기	-
	일반사업장	재활용성 일반폐기물	가연성 일반폐기물	난연성 일반폐기물	산업체 발생 폐지, 폐목재, 폐고무, 식물성 잔재물, 동물성 잔재물 등
특정폐기물	특정 사업장	재활용성 특정폐기물	가연성 특정폐기물	난연성 특정폐기물	-

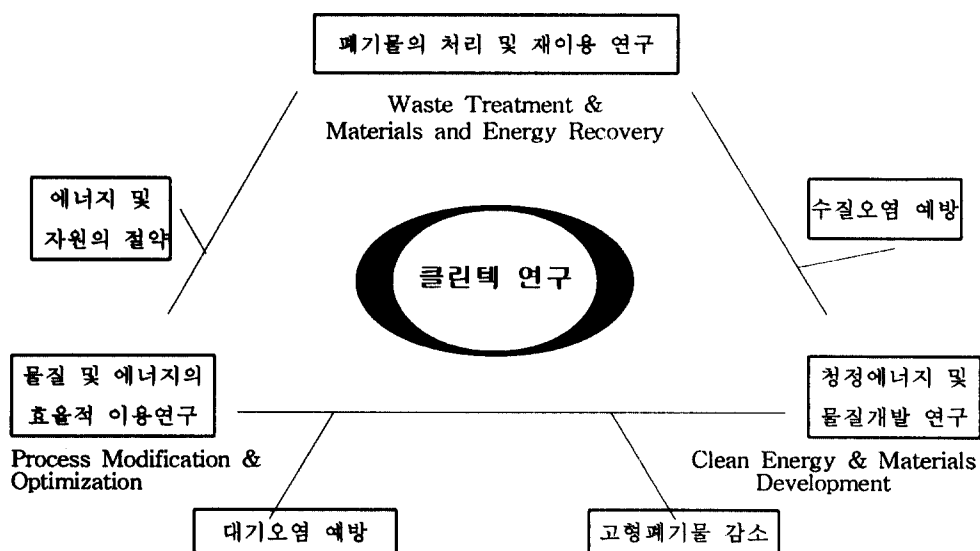


그림 1 발생원에서의 폐기물 발생량 저감에 관한 연구분야⁽⁴⁾

운영비가 높고 배출되는 오염물질의 종류와 양은 증가하는 반면 보다 규제가 엄격해지고 있는 환경기준에 맞추기 어렵고, 에너지 및 자원의 낭비를 감소시킬 수 없다는 단점을 지니고 있기 때문에 발생된 오염물을 단순히 처리하는 방식에서 에너지와 자원의 소비를 줄이면서 오염물의 발생을 원칙적으로 없애거나 극소화시키는 방식으로의 전환이 절실히 요청되고 있다.⁽⁴⁾

이러한 폐기물의 발생원에서의 감량화는 그림 1에서 보는 바와 같이 크게 세 가지의 연구분야로 대별되는 바,⁽⁴⁾ 첫째는 발생된 폐기물에서 에너지와 유용한 물질을 회수하여 이용할 수 있는 신기술을 개발하기 위한 폐기물(기체, 액체, 고체)의 처리 및 재이용 연구분야가 있겠으며, 여기에는 폐고분자수지의 열분해 및 monomer 회수와 배기가스의 촉매회수, 도금공장폐수 중의 중금속 회수 등이 포함된다. 둘째로는 산업체에 공정의 최적화나 신공정을 도입하여 에너지 및 원료를 절약하고 폐기물의 발생을 극소화시키기 위한 물질 및 에너지의 효율적 이용분야를

둘 수 있다. 여기에는 열펌프 및 연료전지의 개발 그리고 초임계 유체의 추출에서부터 공정의 최적화에 이르는 다양한 분야가 장래의 기술개발과제라 할 수 있다. 마지막은 공해물질을 발생시키지 않는 청정 에너지(clean energy) 및 물질을 개발하는 분야로서, CFC 대체품의 개발을 비롯하여 수소의 저장 및 활용기술, 이산화탄소를 이용한 대체연료 생산기술, 고온초전도체 등의 에너지 절약소재, 분해성 고분자수지 및 세제 개발 등이 여기에 속한다.

이러한 연구들이 효율적으로 진행되고 실효를 거두기 위해서는 환경공학, 환경화학, 생물공학, 기계공학, 촉매 및 화학공학, 전기화학공학 등 다양한 전공을 지닌 전문연구원들로 구성된 학제적 연구(interdisciplinary work)가 필요하다.

4. 수거, 운반 및 전처리

4.1 수거, 운반

폐기물 처리에서 수거는 폐기물을 올바르게

게 관리하는 전제조건으로 간주된다. 예컨대 폐기물 처리시설의 설계를 위해서는 처리하고자 하는 폐기물의 양을 정확히 파악하여 이를 기초로 설계 및 기타 계획을 세워야 한다. 한편, 쓰레기의 수집에 있어서 가장 큰 문제가 되고 있는 것은 배출원으로부터 그 분리를 어떻게 해서 배출케 할 것인가 하는 것으로, 쓰레기를 가연성 물질, 비가연성 물질, 더 나아가서는 부패성 물질과 비분해성 물질 등으로 구분하고 자원 재이용의 측면과 매립지의 이용목적에 따라 계획적인 배출이 되도록 유도해야만 뒤이은 전처리 및 중간처리의 계획을 올바르게 세울 수 있으며, 그에 따른 처리효율과 비용도 최적화될 것이다.

폐기물 적재용기의 크기, 구조, 설치장소의 결정에 있어서는 계절적인 사항, 각 가정에 대한 총배출량, 수거주기(매일수거, 격일수거, 주수거 등), 견고성, 이동성 등이 고려되어야 한다. 그러나 우리나라의 경우는 일반적으로 매일 수거를 하고 있으며, 연탄재, 야채, 음식쓰레기, 폐플라스틱 등 모든 폐기물을 쓰레기통에 넣고 일시처리할 수 있게 배출하고 있다. 이것은 가정에서는 간편한 방법으로 좋을 수도 있으나, 현재와 같은 매립법이 계속 유지되는 한 매립지 이용 용도, 매립지 확보난, 자원 재이용의 관점에서 제도적으로 재고의 여지가 있다 하겠다.⁽⁵⁾

한편, 쓰레기 발생의 감량과 재활용의 증대 등을 목적으로 1994년 4월 1일부터 전국 33개 지역에서 시범실시되고 있는 쓰레기 종량제는 쓰레기 처리를 위한 제도적 개선책의 일환으로 관심을 모으고 있는 바, 이는 쓰레기 배출용기의 규격화를 통한 기본요금의 차등징수 및 추가용기에 따른 추가요금의 징수 방식으로 요약할 수 있다. 이러한 종량제는 쓰레기 처리에 있어 여러가지 파급효과를 나타내고 있으며, 불법투기, 재활용품의 수급 체계 미비 등 약간의 문제점에도 불구하고 상당한 정도의 감량효과를 가져오면서 시범 실시지역이 확대되고 있는 상황이다. 특히,

감량노력의 일환으로 음식물 쓰레기 처리대책을 요구하는 주민들의 목소리는 음식물 쓰레기 퇴비화와 관련하여 주목해 볼 점이라 하겠다.

현재의 폐기물 수거방식은 대개의 경우 다음의 네 가지 방식, 즉 poly bucket에 집적된 쓰레기를 직접 쓰레기 수집차에 적재하는 방식인 용기수집방식, 부대를 사용하는 대(袋)수집방식, 수습세대 단위로 대형박스(box)를 적정한 장소에 설치하고 집적된 박스 자체를 수송하는 방식인 더스트 박스(dust-box) 수집방식, 마지막으로 고층건물의 최하층에 설치된 컨테이너 박스(container box)에 더스트 셔트(dust shute)으로부터 쓰레기를 낙하시켜 수집하는 방식인 컨테이너 수거방식 등이 있다. 우리나라의 경우는 용기수집방식과 대(袋)수집방식의 절충식 외에도 골목이 많은 이유로 손수레로 가가호호 방문하여 수집하고 있기 때문에 매우 비과학적이고 비능률적인 실정이다.

새롭게 대두되고 있는 수송방법으로는 모노 레일(mono rail) 수송, 컨베이어(conveyor) 수송, 파이프 라인(pipe-line) 수송 그리고 컨테이너 수집차에 의해서 기지역까지 운반한 후, 철도차량에 적재하여 매립지까지 운반하는 컨테이너-철도수송 방식 등이 있다. 이중 파이프 라인 수송은 자동화, 운전상태 관찰의 용이성, 무공해화(분진, 악취, 소음, 진동, 교통체증 등의 문제), 그리고 눈에 띄지 않는다는 장점으로 인해 현재 고려되고 있는 수송방법 중 가장 각광받고 있으나, 가설후의 경로변경이 곤란하고 설비가 막대하다는 문제점도 있다.⁽⁵⁾

4.2 전처리

폐기물의 전처리는 재활용과 유기적으로 결합할 때 그 자체로 중간처리시설에 도입되는 폐기물의 부피를 감소시킬 뿐만 아니라 개개 처리시설의 효율증대를 유도할 수 있는 공정으로서 매우 중요하게 다루어질 필요가

있으나, 중간처리시설에 대한 연구개발 정도에 비하여는 현재 기술수준이 뒤떨어지는 형편이다. 여기서는 국내외적으로 널리 사용되고 있는 전처리공정의 종류와 각 공정별 적용 가능한 대상폐기물에 대하여 간략히 살펴 보았다.

4.2.1 파쇄

파쇄(shredding)는 그 자체로 폐기물의 부피를 상당량 감소시킬 수 있는 공정으로 폐기물의 비표면적을 증가시키고 입경분포를 균등화하여 뒤따르는 선별공정의 효율에 직접적인 영향을 미치게 된다. 주요부분의 작동방식에 따른 파쇄기의 종류와 각각의 적용 가능한 대상폐기물은 표 2와 같다.

파쇄의 주된 메커니즘은 압축작용, 전단작용, 충격작용, 또는 이들의 복합적인 작용에 따르게 되며, 폐기물의 특성으로서 압축강도와 인장강도의 비로 표현되는 취성도에 따라, 취성도가 큰 물질은 적은 변형량하에서도 급격히 파괴되므로 압축파쇄 또는 충격파쇄를 이용하고, 반대로 취성도가 작은 물질은 고속충격파쇄와 전단파쇄를 택하는 것이 유효하다.

4.2.2 풍력분별(Air Classification)

풍력분별은 입자의 표면적과 밀도차를 이용하여 강한 공기바람에 의해 주로 연소성 물질과 불연성 무기물을 분별해내는 공정을 일컫으며 소각 등의 중간처리시설의 전처리에 다양한 적용예를 찾아 볼 수 있다. 풍력분별방식은 수직형, 경사식, 회전식 등으로 크게 구분되고 세부적으로 에어 나이프 클라시파이어(air knife classifier), 지그재그(zig-zag)형 등 다양한 종류가 있다. 주요 설계요소로는 폐기물의 유입속도와 단면적 부하율(column loading)과 이를 조합한 공기/폐기물(A/S)비를 들 수 있다.

4.2.3 자력분별(Magnetic Separation)

주로 풍력분별후 분별된 무거운 물질들을 다시 금속과 비금속류로 분리하는 공정이다. 그 원리는 고정상 자석위로 벨트(belt) 또는 회전식 드럼을 통과시키면서 폐기물을 투입하여 분별하는 것으로서, 오버헤드 벨트 마그넷(overhead belt magnet)와 마그네틱 드럼(magnetic drum)방식으로 분류된다. 선별된 철금속은 재자원화를 위해 최소한 1,021 kg/m³ 정도의 밀도를 필요로 한다.

표 2 파쇄기의 종류

	파쇄기의 분류	대상 폐기물
회전식	고속회전형 회전식 충격전단 파쇄기	자동차, 대형금속제품, 대형목재제품 폐플라스틱류
	고속수직형 회전식 충격압축 파쇄기	고속회전형 회전식 충격전단 파쇄기와 같음
	저속형 회전식 전단파쇄기	플라스틱류에 적합, 소음과 진동이 적음
왕복식	왕복동식 전단파쇄기	목재류 소각의 전처리, 금속류의 절단
	길로틴형 왕복동식 전단파쇄기	종칼과 횡칼로 인한 절단작용
	왕복동식 압축전단 파쇄기	금속류, 대형폐목재, 대형페타이어
압축식		콘크리트, 유리, 경질플라스틱류

4.2.4 관성력에 의한 분별(Inertial Separation)

이 방법은 폐기물을 관성력(밀도와 크기에 좌우됨)과 탄성력의 차이에 의해 분별하는 방법으로 볼리스틱 세퍼레이터(ballistic separator)와 세케이터(secator), 그리고 인클라인 컨베이어 세퍼레이터(inclined conveyer separator)로 분류된다. 주로 유럽 지역에서 퇴비의 최종선별장치로 사용되고 있으나, 미국에서는 재활용의 전처리 기술로 사용되고 있는 예가 드물다.

4.2.5 체분별(Size Classification)

원판식 스크린(disk screen), 진동식 스크린(vibration screen), 회전식 스크린(rotating or trommel screen) 등의 세 가지로 구분되며 이 중 주로 회전식 스크린이 사용된다. 주로 RDF(refuse derived fuel)의 생산시 열량을 높이는데 사용되어지며 스크린의 설계요소로는 간극의 크기, 길이/직경 비(L/D), 회전속도, 스크린의 경사도, 폐기물 부하등을 들 수 있다.

4.2.6 중력식 분별(Gravitational Separation)

중력식 분별기는 stoner와 진동-부상식 분별기, 고밀도매체(dense media)에 의한 침전-부상기 등이 있다. stoner는 진동하는 스크린과 그 아래로부터 도입되는 공기로 구성되는데, 스크린 상부에서 투입되는 폐기물 중 가벼운 부분은 부상되어 분리되고, 무거운 물질중 입자가 작은 것은 스크린 밑으로체가름되며, 입자가 큰 것은 스크린에 계속적으로 쌓이면서 스크린의 진동력에 의해 배출구로 배출되는 원리에 의해 분리가 이루어진다.

부상식 분별기는 특별한 약품을 투입하여 수중에 침적된 폐기물을 소수성(hydrophobic)으로 만들고 이에 따라 밑에서 불어넣어지는 공기와의 접촉효율을 크게 하여 부상의 효율을 증가시키는 방법이 사용되고 있

다. 고밀도매체에 의한 침전-부상법은 폐기물의 특정 성분보다 비중이 높은 브롬계 탄화수소, 염소계탄화수소용액이나, 자철광 또는 철-실리콘(ferrosilicon)수용액 등에 침적시켜 비중이 낮은 특성성분만을 부상분리시키는 방법으로 사용하는 용매의 유해성이나 비용면에서 그리 좋은 방법은 아니라 할 수 있다.

4.2.7 와전류 분별(Eddy Current Separation)

와전류현상은 시간적으로 전류가 변화하는 나선형의 코일 내를 통과하는 전도체의 내부에 코일에 의해 유발되는 자장에 반대하는 와전류 플럭스(flux)가 발생하는 현상을 의미하는데, 이 와전류 플럭스가 코일에 의해 유발되는 자장을 충분히 능가하도록 하여 폐기물내 전도체와 비전도체를 분별해내는 방식이 바로 와전류분별 방식이다. 주로 알루미늄, 동, 아연 등의 비극성 전도체의 분리에 사용되어지나 순도에 있어서 만족스러운 결과는 얻지 못하는 것으로 알려지고 있다.

4.2.8 광학분별(Optical Separation)

주로 색유리와 보통유리를 고르기 위한 방법으로 사용된다. 광학부에서는 기준색판을 감지하고 있다가 색유리가 통과하면서 색유리입자에 의한 반사특성과 기준색판간의 편차가 감지되면 압축공기가 분사되어 색유리를 분리하게 된다. 퇴비로부터 유리를 분리해낼 때는 공기가 분사되는 경우를 앞의 경우와 반대로 하면 된다. 이 방법은 반드시 폐기물 입자크기가 균일해야 한다는 단점이 있다.

5. 중간처리 및 재활용 기술

5.1 소각 기술(Incineration)⁽²⁾

폐기물의 소각은 현재 일본등지에서 가장 널리 사용되는 폐기물처리법으로 부피감소 효과를 쉽고 빠르게 이룰 수 있고 먼 거리가

표 3 유럽의 소각처리 현황⁽¹⁹⁾

국명	도시 고형폐기물의 소각 처리비율(%)	국명	도시 고형폐기물의 소각 처리비율(%)
오스트리아	20.5	벨기에	36
덴마크	41	프랑스	37
독일	25	그리스	<1
아일랜드	0	이탈리	24
룩셈부르크	77	네덜란드	35
노르웨이	18	포르투갈	0
스페인	4.5	스웨덴	50
스위스	77	영국	10
일본	73.9		

지 수송없이 현장에서 직접 처리할 수 있으며 처리에 소요되는 부지가 적은 장점을 갖는다. 이외에도 소각의 여열을 이용하여 비용을 절감할 수 있으며 폐기물로 인한 병원균 전파의 문제를 완벽히 해소할 수 있는 장점이 있다. 반면 폐기물에 포함되어 있는 중금속이 소각도중 배기가스에 포함되어 오염을 유발시킬 수도 있으며, HCl, HF, dioxins, furans 등의 2차 대기오염문제가 발생하게 되는 문제점을 지니고 있다. 또한 우리나라의 음식쓰레기와 같은 유기성 폐기물은 수분함량이 75~85% 정도로 높아 많은 양의 보조에너지가 필요하다는 단점을 지닌다. 따라서 2차오염저감을 위한 대기오염 제어설비 및 보조에너지 소요로 인하여 소각은 값비싼 폐기물 처리공정으로 인식되기도 하여 소각

효율 향상을 위한 기계적 문제해결 및 적절한 전처리시설의 개발과 함께 대기오염 제어설비, 소각여열 이용설비 등에 대한 연구개발이 필요한 것으로 사료된다. 표 3과 표 4는 각각 유럽의 도시고형폐기물 소각처리 비율과 소각로 배기가스의 대기오염제어 설비 설치 현황을 나타내고 있다.

쓰레기의 소각기술은 그 소각방법에 따라 회분식 소각로와 연속식 소각로로 대별되며 기계화의 정도에 따라 회분식 소각로, 기계화회분식 소각로, 준연속식 소각로, 연속식 소각로로 세분한다. 그리고 소각로의 형식구조에 따라 화격자연소방식 소각로, 상연소방식 소각로, 유동상식 소각로, 분무연소방식 소각로, 부유연소방식 소각로 등으로 분류한다.

표 4 유럽의 대기오염제어설비 현황⁽²⁾

소각 배가스 처리 현황	구성 비율(%)
전기집진장치와 가스세정장치를 부착	7
전기집진장치만 설치	36
기계적 먼지 분리장치인 cyclones, multy-cyclones을 설치	35
배가스에 대한 처리시설이 없음	22

5.2 퇴비화 기술(Composting)

5.2.1 퇴비화기술의 개요⁽⁶⁾

퇴비화는 원래 농가에서 발생하는 벼짚, 밀짚, 가축 및 인분뇨, 그리고 음식찌꺼기 등을 쌓아 올린 퇴비더미 내에서의 자연적인 분해과정을 거쳐 퇴비를 만들어내는 전통적인 농경 생활의 한 방편이었다. 그러다가 폐기물 처리문제가 심각히 대두되면서 이러한 방법이 폐기물의 처리에 적용되어 탈수된 슬

러지나 각종의 고품폐기물, 또는 이의 혼합물을 적절히 제어된 조건하에서 생물학적으로 분해하여 안정화 및 감량화를 꾀하는 폐기물 처리기술로서 자리잡게 되었다. 퇴비화가 서구에 처음 소개된 것은 1927년에 미농무성의 F. H. King이 동양의 전통적 퇴비생산법을 경험하고 보고한 것을 시작으로 이 보고서를 본 Albert Howard경에 의해 Indore process가 인도에 보급되어 전세계적인 관심이 집중되었다. 이후로부터 1930년대까지 Indore process를 중심으로 많은 연구가 진행되어졌으며 퇴비화속도를 향상시키기 위한 다양한 기계적 장치가 고안되었다. 그리고 2차세계대전을 거치면서 도시쓰레기의 퇴비화가 본격적으로 도입되어 네덜란드에서는 전국적인 규모로 폐기물처리에 이용되었고 프랑스, 스위스, 서독 등지에서도 상당한 처리시설이 만들어졌으며 이때 Windrow, Dano, Naturizer, V.A.M. process 등이 개발되었다. 1960년대 중반부터는 생산된 퇴비의 이용기피로 인해 각 퇴비화 시설이 재정적인 어려움을 겪었으며 이후로 환경문제에 대한 관심이 점차 고조되어 왔음에도 불구하고 이러한 현상은 계속되어 오다 최근에 자원재활용이 강조된 이후로 전세계적으로 퇴비화처리가 다시 증가추세를 보이고 있다.

자원이 부족한 국내에서도 폐기물의 총체적 관리개념의 도입과 함께 자원재활용의 중요성이 강조되면서 가장 쉽게 접근할 수 있는 기술로 인식되어 시설설계인자의 도출에서부터 특정 분해균주를 이용한 고속퇴비화 장치의 개발에 이르기까지 포괄적인 연구가 수행되고 있으며, 현재는 서울시에 파일럿(pilot) 규모의 퇴비화시설 설치 및 운전을 통하여 경험을 축적해가는 한편 퇴비화를 위한 최적 쓰레기수거체계 확립 등을 포함하여 법적, 제도적 여건조성에 관한 연구도 활발히 수행중에 있다. 한편, 환경처시행으로 올 9월부터 일정규모 이상의 업체에서 배출되는 음식물쓰레기를 탈수 또는 퇴비화처리하여

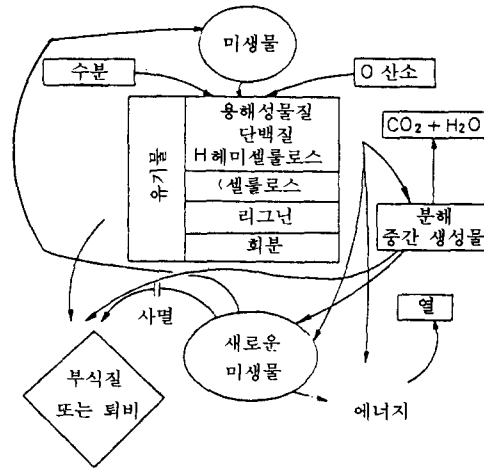


그림 2 퇴비화과정에서 각 물질간의 작용관계

감량화하도록 의무화될 예정에 있어 장래의 귀추가 주목되고 있다.⁽⁷⁾

퇴비화 기술의 원리는 그림 2에서 보는 바와 같다. 퇴비더미 내에 존재하는 미생물은 수분과 산소농도가 적절한 수준으로 되면 활발히 대사활동을 하여 생성물로서 미생물 자신과 CO₂, 물, 저분자의 중간생성물, 에너지 등을 만들어 낸다. 이 과정에서 발생된 에너지는 퇴비더미 자신의 온도를 상승시켜 자발적인 반응이 계속 진행되도록 하고 이러한 온도의 상승에 따라 수분의 증발이 일어난다. 또한 높은 온도의 유지는 병원성 미생물의 사멸을 유발하는데 실제로 숙성기간을 거쳐 최종적으로 생성된 퇴비는 병원성 미생물이 대부분 사멸되고 미생물 활동으로 인한 악취발생의 염려가 거의 없는 안정한 물질이다.

5.2.2 퇴비화 운전인자⁽⁶⁾

퇴비화는 기상, 액상, 고상 등 세 가지 상태의 물질이 혼재하는 관계로 매우 다양한 인자가 공정의 효율에 영향을 미치게 되며 각각의 운전인자들은 서로 연관을 갖고 있기 때문에 폐기물의 특성을 고려하지 않고서는

표 5 대표적인 퇴비화 운전인자⁽⁶⁾

운전인자	대표적인 최적치
입자크기	1.3~5.0 cm
수분함량	30% 이하 : 생물반응 저해, 20% 이하 : 반응 불가능, 습윤한 폐기물(채소류, 음식물류) : 50~55 도시고형폐기물 : 55~65
온도	하수슬러지 : 60°C 도시고형폐기물 : 55~60°C
산소공급	배가스중의 산소농도 : 10~18%
C/N비	20~40
통기개량제 (bulking agent)	적정 수분 및 C/N비에 기준하여 결정
pH	중성범위(5.5~8.0)
교반	간헐적 교반, 0.5~1.5 rpm

정확한 최적의 값을 논할 수 없다. 표 5에는 일반적으로 제시되고 있는 퇴비화 운전인자의 대표치를 나타내었다.

5.2.3 퇴비의 숙성도⁽⁶⁾

퇴비화할 때의 주된 관심사는 요구되는 퇴비화 정도를 달성하는데 얼마만큼의 시간이 필요한가 하는 것으로서 이런 면에서 퇴비의 숙성도가 중요시 된다. 생산된 퇴비의 숙성도를 판단하는 데는 퇴비의 용도를 고려하는 것이 중요하다. 즉, 퇴비의 용도에 따라 요구되는 퇴비의 특성이 다르다는 것인데 일반적인 퇴비가 갖고 있어야 하는 특성으로는 아래의 여섯 가지 등을 들 수 있다.

- (1) 토양의 수분보유능 향상
- (2) 영양물질의 저장 및 제공
- (3) 토양의 침식 방지(resistance to erosion)
- (4) 토양내의 공극 증대
- (5) 작물병충해 방지(plant disease suppression)
- (6) 토양경화 방지(resistance to crusting)

숙성도의 지표로서 C/N비, 양이온교환능력(CEC, cation exchange capacity), C-NMR spectroscopy 등 여러가지가 연구되었으며, 그 모두 생산된 퇴비를 토양에 투입하였을 때 유기물의 분해로 인한 식물독성이 문제가 되지 않는 값을 적정치로 본다는 공통점을 갖으며 두 가지 이상의 지표가 종합적으로 고려되어야 한다.

5.3 메탄발효(Methane Fermentation)⁽³⁾

메탄발효에 의한 유기성폐기물의 자원화기술은 폐기물을 감량화·안정화시키는 동시에 메탄가스회수를 통한 자원화가 동시에 가능하여 가장 경쟁력있는 처리, 처분기술로 사료되지만 국내에서는 아직까지 이 분야에 대한 연구성도가 초보적인 수준에 머물고 있어 유가자원으로 전환될 수 있는 막대한 양의 자원이 폐기물로서 그냥 버려져 오히려 환경오염의 주범으로 대두되고 있는 실정이다. 혐기성 소화공정은 무엇보다도 유용한 메탄가스를 부산물로 얻을 수 있는 장점 때문에 오늘날 에너지 값의 변동에도 불구하고 줄곧 인기있는 유기성 폐기물 처리법으로 인식되고 있다. 호기성 처리공정이 에너지 소비자라면 혐기성소화 공정은 에너지 생산자이며, 슬러지 생산량도 단지 호기성의 10%에 불과하다는 장점이 이를 뒷받침해 주고 있다. 특히 생분해성 유기물 함량이 많은 각종 농공산업 폐기물로부터 대규모의 메탄생성을 상업화할 수 있는 가능성에 관한 연구가 시작되면서 유기물 제거효율과 메탄생성을 동시에 극대화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 혐기성 소화에 의해 자원화 가능한 유기성 폐기물로는 과거의 1차 및 2차 슬러지로부터 유기성 생활쓰레기의 주종을 이루는 음식폐기물, 농공산업 폐기물, 축산폐기물에서 분뇨에 이르기까지 다양하게 활용가능하며, 각 폐기물의 물리·화학적 특성과 시료의 전처리 필요성의 유무, 슬러지 처리기구, 최종처리 목표 등에 따라 서로 다른 형태의

소화반응조가 개발되어 왔다.

우리나라에서 유기성 폐기물로부터 에너지 회수를 최초로 시도한 것은 1970년대 중반부터 수행되어온 농촌지역의 1m³ 규모의 메탄 가스 장치라 할 수 있으나 큰 실효를 보지 못하였고 그 이후 연구도 부진한 상태였다. 외국의 경우 유기성폐기물의 혐기성소화는 부존 자원이 부족한 유럽과 제3세계를 중심으로 60년대 이후에 시도되었으며, 매립지 부족난이 심화되면서 환경오염 방지와 대체 에너지 개발이라는 측면에서 도시 폐기물의 처리 및 처분을 위한 메탄발효공정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 연구초기에는 기술적인 타당성을 조사하기 위한 슬러지처리 공정의 개념을 도입한 완전혼합형 반응조에서 연구가 시작되었으나, 그 후 운전상의 문제점(교반, 스크럼 등)과 경제성의 원인으로 건식소화(dry anaerobic fermentation) 및 이상소화에 대한 연구가 집중적으로 진행되었다. 특히, 1970년대 석유파동 이후 생활쓰레기로부터 유기물을 분리하고 분리된 유기물의 생분해도를 증가시키기 위한 전처리공정과 메탄가스를 생산하는 혐기성소화공정, 발생된 가스에서 이산화탄소 등의 불순물을 분리하는 가스의 정제기술과 소화 잔류물을 처분하는 매립이나 소각 또는 토양 개량제로의 이용성 등을 연구하는 처분공정으로 나뉘어 연구되고 있으며, DRANCO(DRY ANaerobic Composting), VAI.ORG, 그리고 BIOCEL 등의 메탄발효 공정은 이미 실용화 단계에 있다. 그러나 이러한 공정들 역시 메탄수율은 높지만 유기물의 메탄전환율이 50% 가량에 머물고 있어 메탄전환율을 향상시키고 공정을 최적화하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

5.4 열분해(Pyrolysis)⁽³⁾

열분해는 가연성폐기물로부터 오염물질을 극히 적게 발생시키면서 에너지를 회수할 수 있는 처리방법으로 주목받고 있다. 열분해는

유기물을 무산소 또는 저산소에서 고온(500~1,000°C)으로 가열하여 (i)수소, 메탄 등의 탄화수소, 일산화탄소 등으로 되는 가연성가스, (ii) 상온에서는 액상인 식초산, 아세톤, 메탄올과 같은 유기화합물을 함유하는 타르분 또는 유분, (iii) 순탄소와 유리, 금속, 토사를 함유하는 카르(char) 등의 3성분으로 화학적으로 분리하는 공정이다. 각 부분의 열함량은 매우 높다. 카르(char) 등의 경우 11,000~12,000Btu/lb로서 연탄의 열함량(12,000~14,000Btu/lb)에 버금가며, 액체 부분은 10,000Btu/lb 정도로 종이의 열함량(7,000Btu/lb)보다 높다. 기체부분 역시 정제과정을 거칠 경우 연료화가 가능하다. 열분해에 영향을 미치는 인자는 온도자체와 가열속도로서 대개 열분해 온도가 높으면 가스 부분의 생성이 가장 큰 비중을 차지한다. 쓰레기처리에서 열분해 공정은 소각보다 배가스발생량이 적고, 황분, 중금속이 회분에 고정되는 확률이 크며 환원성조건을 유지하여 Cr³⁺가 Cr⁶⁺로 변화하지 않아야 하며, NOx의 발생량이 적은 점 등으로 개발이 기대된다. 현재 개발되었거나 진행중인 공정으로는 Purox Process, Torrax Process, Rotary Kiln 식 Landgard Process, 新日鐵 이동충용용로식 열분해공정, Occidental Process, BKMI-Pyrocal Process 등이 있다.

5.5 고체연료(RDF: Refuse DeriVed Fuel)⁽³⁾

도시쓰레기 및 고형폐기물의 가스화, 유화(油化)기술의 개발연구가 많이 진행되어 세계도처에 플랜트가 건설 운용되고 있으며, 에너지 회수의 주체는 기계로에 의한 직접소각과 보일러 발전의 조합으로 이루어지고 있다. RDF의 질적 특성은 쓰레기의 종류와 조성에 따라 많은 변수를 갖고 있기 때문에 그 목적에 따라 제조공정과 사용방법이 달라진다. 현재 RDF가 갖고 있는 큰 단점은 대부분의 경우 RDF용의 특수로에서만 연소가 가능하며 일반화가 어렵다는 것을 꼽을 수

있다. RDF가 갖춰야 할 조건으로는 다음과 같은 점들을 들 수 있다.

첫째, 제품으로서의 발열량, 즉 칼로리가 높아야 한다.

둘째, 쓰레기 원료나 제품의 함수율이 낮을 것.

셋째, 원료중에 비가연성 성분이나 연소 후 잔류하는 재(ash)의 함량이 적을 것.

넷째, RDF의 조성 배합률이 균일할 것.

다섯째, 저장 및 수송이 편리하도록 개질 되어야 할 것.

여섯째, 대기오염이 적을 것.

일곱째, 기존의 고체연료를 사용하는 로에서 사용이 가능할 것.

RDF의 생산은 기계적인 선별과정을 통하여 이루어지나 쓰레기의 분리수거로 2차자원을 회수하는 것과 같은 간단한 방법과 여러 단계로 되는 복잡한 기계적 선별공정을 거치는 두 가지 방식으로 구분할 수 있다. 간단한 공정은 분리수거, 수(手)선별, 파쇄, 금속분리 등의 공정으로 이루어지며, 복잡한 공정은 이론적으로 세 단계의 공정—쓰레기의 전처리, 폐기물중 유해물질 및 비가연물 제거, RDF로서 필요로 하는 형태로의 최종조형—을 거쳐서 제조되고 있다. 현재 RDF의 제조 및 활용은 유럽지역을 중심으로 활발히 진행되고 있으며, 특히 독일, 스웨덴, 네덜란드, 스페인 등지에서 플랜트가 활용중이다.

5.6 사료화(Feed Production)^(3,18)

사료에는 식물성, 동물성, 유지류, 광물성의 단미사료가 있고, 2종류 이상의 단미사료를 배합, 화합, 가공 처리한 배합사료 및 향미제, 요소제, 규산염제의 보조사료로 구분된다. 사료화공정에는 호기성분해나 혐기성 발효에 의한 미생물학적인 방법이 있고, 익힘, 탈수, 건조, 분쇄, 품질조정, 가공 등의 단위공정을 거치는 물리적인 방법이 있다. 앞의 익힘공정은 병원균의 제거뿐만 아니라

후속되는 탈수공정의 전처리과정 역할을 수행한다. 원료의 특성이나 최종생산물의 품질에 따라 영양분을 공급하거나 부패방지를 위한 항산화제를 첨가하기도 한다.

일반적으로 상품으로서의 사료는 유해물질이나 병원균이 없어야 하며, 영양학적으로 균형을 이루어야 하고, 기호성이 있고, 소화 및 흡수가 좋아야 한다. 또한 보관상 부패가능성이 적어야 하고 섭취한 가축의 육질이 좋아야 하며, 끝으로 가격이 저렴하고 균질해야 한다는 조건이 있다. 음식물쓰레기와 같은 부패성폐기물을 사료화하는 경우 문제점은 우선 폐기물 자체의 특성인 부패성이 문제가 되며, 무엇보다도 가장 큰 문제점은 유해물질과 관련된 위생적인 면이라 하겠다. 따라서 음식폐기물의 배출원에서부터의 분리수거 체계 확립이 선행되어야만 실효를 거둘 수 있다.

5.7 기타 처리기술⁽³⁾

이외에도 폐기물의 중간처리 및 재활용기술에는 알콜발효공정, 식용작물재배 등이 있다. 유기성 폐기물로부터 특정한 성분을 추출한다든지 혹은 미생물학적 공정을 거쳐 특정한 성분을 생산하는 기술은 오랫동안 연구되어 왔다. 동물성잔재물로부터 유지류의 추출, 맥주효모로부터 핵산관련 물질의 추출은 최근들어 활발히 연구되는 분야이다. 섬유소로부터 포도당을 생산하는 기술은 오래전부터 연구되어 왔으나 경제성 때문에 실용화되지 못하고 있다. 알콜발효기술 역시 현재는 그다지 경제적이지 못한 방법으로 인식되지만 화석연료의 고갈에 대비한 대체에너지원으로 주목 받고 있으며, 식용작물재배의 대표적인 예는 버섯재배를 들 수 있겠다.

6. 최종처분 기술

6.1 매립 기술

매립에 의한 폐기물의 처분은 편이성, 경제성 등으로 인해 고형폐기물의 처리에 널리

표 6 매립지 종류에 따른 허용가능한 폐기물 성상
(특정 폐기물 기준)

매립지 종류	허용가능한 폐기물의 종류
차단형 매립지 (secure landfill)	특정폐기물 중 광재, 분진, 폐주물사, 폐사, 폐내화물, 도자기편류, 소각잔재물, 폐촉매, 폐흡수재, 폐흡착제
관리형 매립지 (sanitary landfill)	고상의 폐유기용매, 폐유중 타르 피치류, 고상의 폐석고, 폐석회, 동물성 잔재물(수분함량 85% 이하), 폐수처리 또는 공정오니(수분함량 85% 이하)
침전지형 매립지 (pond)	액상의 폐석고, 폐석회
안전형 매립지 (open dump)	열경화성 폐합성 고분화 화합물, 폐석면

사용되어지고 있다. 그러나 최근에는 매립지 확보의 어려움과 매립시 발생하는 이차적인 환경문제로 인하여 많은 어려움에 봉착하게 되었으며, 이러한 문제의 해결을 위해서는 매립지의 적절한 관리 및 효율적이고 안정적인 운영이 필요한 실정이다. 따라서 최근에는 매립이전의 전처리에 대한 관심이 증가되었으며, 압축 결속장치(bailer system)의 활용이나 사전압축(precompaction) 방법을 통한 부피 감소 방안에 대한 시도가 증가되고 있다. 그리고 매립지에서 발생하는 침출수와 매립가스 등으로 인한 이차적인 환경문제의 저감 및 운영의 효율성을 위해 신매립공법 등 다양한 연구가 수행되고 있다.

각종 폐기물 매립에 사용되는 매립시설에는 차단형·관리형·침전지형·안전형 매립시설이 있으며, 각각의 매립지에 적용되는 폐기물은 표 6에 제시되어 있다.

6.1.1 매립지 운영의 동향

매립지 확보난이 가중됨에 따라 폐기물에 대한 전처리가 가중되고 있으며, 이러한 전

처리는 단위 폐기물 당의 매립지 운영비를 증가시키지만, 매립지의 수명을 연장시킨다는 관점에서 일정규모 이상의 매립지에서는 경제성을 지니고 있다.

매립시에는 유가물질의 회수 및 파쇄 등을 통하여 매립 대상 폐기물의 체적 감소를 유도하고 유기성 폐기물은 퇴비화, 혐기성 건조 소화(dry digestion) 등을 통해 에너지 준위를 저감하여 매립을 시행한다. 그리고 매립시에는 폐기물을 0.9~1.1 ton/m³의 고밀도로 압축하여, 약 1.2~1.5 m 크기의 육면체로 만들어 덩어리체로 매립하는 bailing 시스템이 이용되어지기도 한다. 이러한 전처리 방법의 도입은 환경적으로 안정하며, 매립지 사용연한의 증가 및 매립작업의 용이성을 증가시킨다.

최근에는 매립지 사용연한의 증가와 향후 활용을 증진하기 위하여 준호기성 공법, 크로스드 시스템(closed system) 등의 연구가 외국의 경우에서 시도되고 있다. 준호기성 공법은 매립장 저부의 침출수 수집관을 통해 공기를 자연확산시켜 토양층 내에 호기성 영역을 확대시킴으로써 폐기물의 조기안정화를 도모하는 방법이다. 준호기성 공법을 위해서는 침출수의 배제를 용이하게 함으로써 침출수 수집관에 공기가 확산될 수 있는 충분한 통로를 주고, 유공관을 계속적으로 연결하여 설치하여 주어야 한다.

크로스드 시스템 처분장은 지하나 반지하에 완전 차단된 공간을 설치하여 폐기물을 매립하고 파이프라인을 통해 폐기물을 수송하며, 무인의 기계작동에 의해 포설 및 다짐하는 방식을 말한다. 한편, 매립공간의 상층부는 공원이거나 체육시설 등을 설치하여 상부부지의 적극적인 활용 및 복합시설로서의 활용을 도모하고 있다.

6.1.2 매립에 의한 환경문제

1) 침출수 처리

침출수의 성상은 매립지에서 일어나는 물

리적, 화학적, 생물학적 작용의 복잡한 과정에 의해 영향을 받으며, 특히 폐기물의 종류, 유기물 함량, 매립연한, 수분함량 및 매립방식 등의 다양한 인자에 의해 상이한 값을 보이고 있다.^(8~10) 그러나 일반적으로 매립연한의 증가에 따라 유기물량의 감소와 더불어 상대적으로 무기물 함량의 증가를 보이고 있다. 침출수에는 높은 유기물 함량, 중금속, 방향족 화합물(aromatic compounds) 등으로 인하여 처리시 많은 문제점을 내포하고 있다.

침출수 처리공정에는 물리화학적 처리와 생물학적 처리방법이 이용된다. 물리화학적 처리공정은 침출수에 함유된 중금속과 색도 유발물질에 대한 제거효율이 우수하므로 상대적으로 생물학적으로 분해가 어려운 물질 즉 분자량이 50,000 이상인 휴믹성의 탄수화물 물질(humic carbohydrate-like complex)과 분자량이 500~10,000으로 구성된 펄빅산(fulvic acid-like complex) 등을 주로 함유한 매립연한이 오래된 침출수의 처리에 적합하다.⁽¹⁰⁾ 생물학적 처리방법에는 활성 슬러지법(activated sludge), 회전원판법(rotating biological contactor), SBR(sequencing batch reactor) 등의 호기성 처리공법과 UASB(upflow anaerobic sludge blanket), AF(anaerobic filter) 등의 혐기성공법이 침출수에 함유된 고농도의 유기물질을 제거하는 데 이용되고 있다.⁽¹¹⁾

2) 매립가스의 발생 및 이용방안

매립지에서 발생하는 매립가스(landfill gas)는 매립된 폐기물이 혐기성 미생물(anaerobes)의 작용에 의해 메탄과 이산화탄소로 전환되면서 발생한다. 매립연한이 오래된 매립지내에서 발생하는 가스는 50~55%의 메탄과 45~50%의 이산화탄소로 구성되어 있으며, 미량의 가스가 차지하는 비율은 1~2%를 보이고 있다.⁽¹¹⁾ 그리고 매립지에서 발생하는 가스의 양은 습윤 쓰레기 1 kg당 187~499 L에 이르는 것으로 보고되

고 있다.⁽¹²⁾ 최근에는 매립가스로 인한 환경오염 문제의 해결과 대체에너지로 이용을 위해 매립가스를 회수하는 방안에 대한 연구가 활발히 시도되고 있다.

매립가스 회수공정에서 가장 중요한 공정은 추출공정이며, 부적절한 추출공정의 선정은 많은 비용이 소모되며, 후속 공정인 분리정제 공정에서 필요한 양의 가스를 얻을 수 없다. 매립가스의 추출시스템은 active system, passive system 및 hybrid system 등이 있으며, 가스 회수 목적으로는 송풍기(blower)에 의한 강제적인 압력구배를 이용하여 가스를 추출하는 active system이 사용되어지고 있다.

회수된 매립가스 중에서 이산화탄소를 제거하는 분리공정에는 접촉기(contactor)에서 용매와 매립가스를 향유 접촉시켜 이산화탄소를 포함하는 산성가스를 제거하는 용매추출(solvent separation) 시스템, 막분리공정 물질간의 확산(diffusion) 차이를 이용하여 molecular sieve를 통한 동역학적 분리(kinetic separation) 방법이 이용되고 있다.⁽¹³⁾

6.2 해양투기⁽¹⁴⁾

해양투기 방법은 제2차대전 이전까지는 그렇게 큰 논란이 없었으나, 1954년 영국이 제안한 "기름에 의한 해양오염 방지에 관한 국제협약"을 맺기 시작한 이후부터 국제여론이 고조되었다. 근래에는 우리나라의 동해북부에서 러시아의 폐원자력추진 잠수함의 폐기물을 해양투기하는 사건이 벌어져 우리나라 및 일본의 지대한 관심을 모은 바도 있다. 아울러 대형 유조선의 기름 유출사고로 인하여 생태계가 파괴된 해안을 복구하기 위해서는 막대한 시간과 노력이 필요하다는 교훈도 많은 경험을 통하여 깨달은 바 있기 때문에 1972년 스톡홀름에서 개최된 UN 인간환경회의에서는 "인간환경의 보호, 개선"을 목적으로 하는 "인간환경선언문"이 채택되었으며,

특히 해양오염에 있어서 “각국은 인간의 건강에 위해를 가져오고 생물자원과 해양생물에 해를 주어 해양의 쾌적한 환경을 손상하여 해양의 정당한 이용을 방해하는 물질에 의한 해양오염을 방지하기 위하여 모든 가능한 조치를 취하지 않으면 안된다”고 선언하였다. 해양은 한 나라의 소유물로 한정되는 것이 아니기 때문에, 한 나라에서의 오염행위는 현재나 장래에 있어 해양 전체의 적정한 이용을 저해하게 된다. 아울러 연안국 국민의 건강이나 생활에 중대한 영향을 미치게

되므로 해양에서의 폐기물의 투기는 국제협약이 정한 바에 따라야 한다. 일반적으로 해양투기는 내륙처리 보다 경제적인 면에서 불리한 것으로 알려져 있다.

7. 총체적 폐기물 관리시스템

수많은 물질이 혼재하는 폐기물은 일견 무용의 버려지는 물질로 생각하기 쉬우나 조금만 자세히 살펴 보면 그 자체로 자원이 될 수 있는 성분을 상당부분 내포하고 있다. 폐

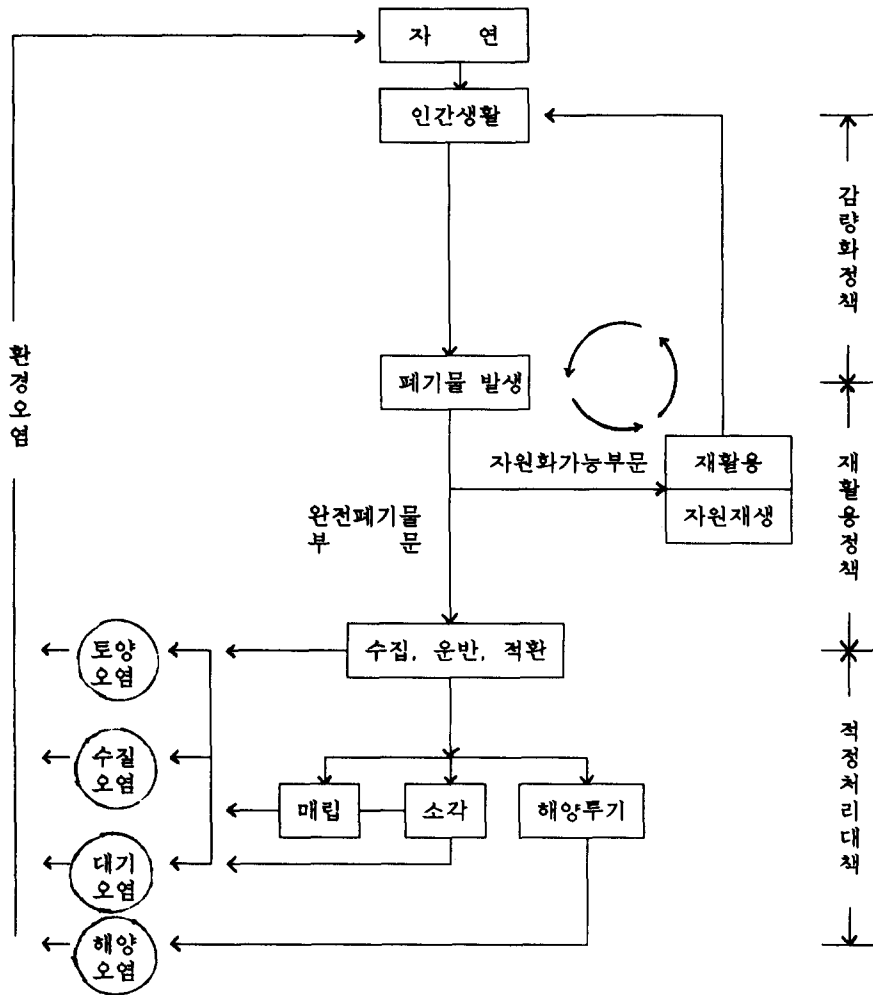


그림 3 폐기물 관리정책의 기본개념⁽¹⁵⁾

기물 처리의 기본개념은 인간생활을 윤택하고 풍요롭게 하기 위하여 우선 주변의 환경 오염 요소를 최대한 줄이자는 것에 다름 아니다. 따라서 폐기물로부터 자원의 재이용 가능성을 지닌 물질을 적극적으로 회수하여 재활용하고, 그 다음으로는 2차환경오염과 처리비용을 최소화하는 것에 기초하여 폐기물을 처리할 것이며, 마지막으로 처리가 불

가능한 물질은 자연으로 순환시키는 방법이 궁극적인 폐기물 처리의 해결방안이라 하겠다. 그리고 그 무엇보다도 우선하는 것은 폐기물의 발생을 최대한 억제하는 것이다. 이러한 폐기물의 관리체계는 발생하는 폐기물의 정확한 양적, 질적 정량화와 폐기물 구성 성분의 특성에 맞는 처리기술의 적절한 조합이 유기적으로 연계될 때만이 구축될 수 있

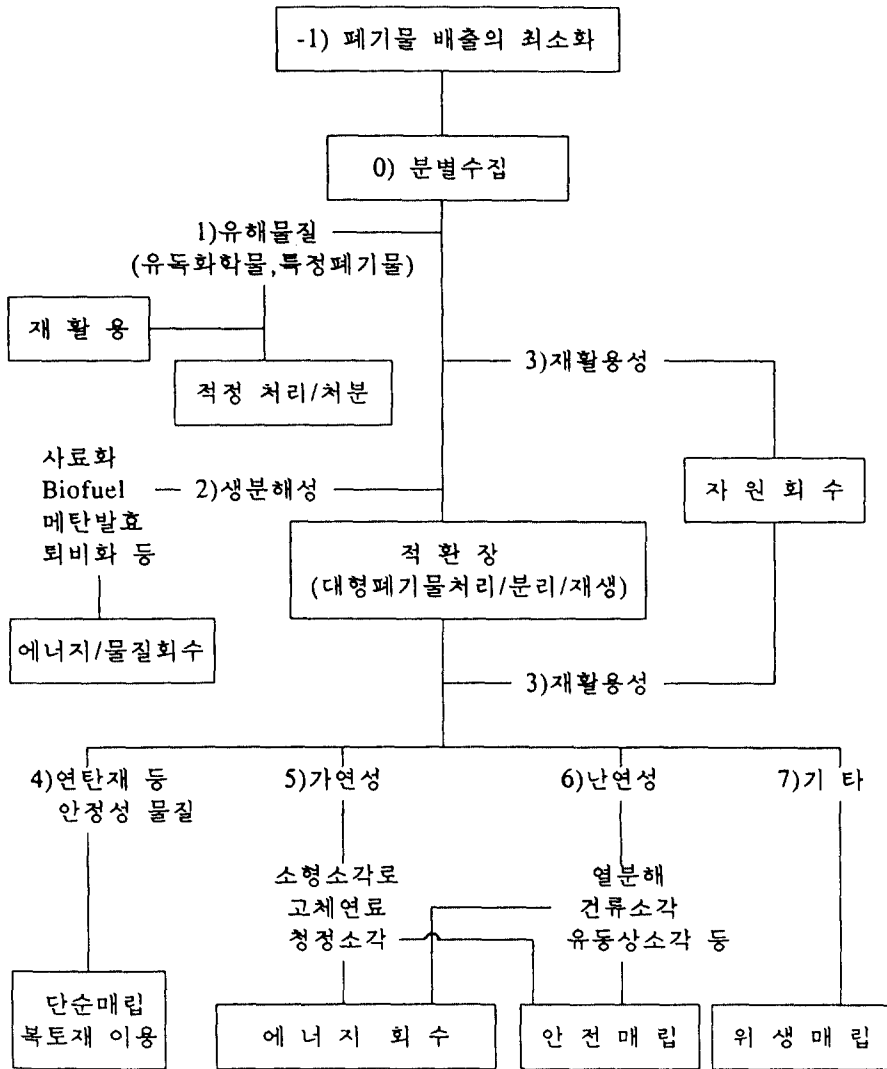


그림 4 총체적 폐기물 관리시스템의 제안⁽¹⁶⁾

는 것이다. 폐기물의 총체적 관리시스템은 바로 이러한 유기적 연계체계의 최종 도달점이라 할 수 있으며, 환경처에서도 이러한 관리개념의 중요성에 입각하여 그림 3과 같은 폐기물의 관리대책을 수립하고 있다.⁽¹⁵⁾ 물론 이의 실현을 위해서는 학계를 포함한 다방면의 연구 및 토의가 있어야 하겠지만, 음식물쓰레기 및 특정 유해폐기물의 혼합매립으로 인한 2차오염 발생을 경험하고 또한 전처리와 선별과정이 간과된 소각처리의 한계를 실감한 우리로서는 당연한 조치인 것이다. 이와 관련하여 지금까지 학계에서 연구 제안된 총체적 폐기물 관리시스템은 그림 4와 같이 요약할 수 있다.⁽¹⁶⁾

일반폐기물을 효율적으로 처리하기 위한 관리방법은 가장 먼저 발생원에서 최대한 폐기물 배출을 최소화하고자 노력한 후, 그래도 배출되는 폐기물 중에서 유해물질이나 특정 폐기물을 가장 먼저 분리하여 적절한 방법으로 처리, 처분한다. 폐기물 중에서 음식물쓰레기와 같은 생분해성 폐기물은 부패성과 높은 수분함량으로 인하여 분리되지 아니하였을 경우 다른 종류의 폐기물 관리에도 큰 곤란을 유발할 가능성이 있기 때문에 유해물질 분리의 다음 단계에서 우선적으로 분리되어야 하며, 분리된 음식쓰레기는 수거하여 퇴비화나 메탄발효 등의 방법을 통하여 자연으로 환원하거나 에너지를 회수하는 것이 바람직하다.⁽¹⁶⁾ 생분해성 폐기물을 분리해낸 다음 단계에서는 종이, 공병, 금속캔 등 재활용성 폐기물을 분리하여 회수하며, 적환장에서는 미처 분리되지 않는 폐기물을 다시 한번 분리하고 재활용 가능한 폐기물을 회수한다. 적환장에는 가구류, 가전제품류 등 대형폐기물을 처리할 수 있는 시설을 함께 설치하는 것이 바람직하다. 이렇게 분리 회수된 후 나머지 폐기물은 각각의 특성에 맞는 가장 적합한 처리방법을 순차적으로 도입한다.

우선 우리나라 특성상 배출량은 많지만 환

경적으로는 거의 무해한 것으로 알려져 있는 연탄재를 비롯한 안정성 물질은 단순매립으로 처리하거나 매립지의 복토재로 활용하고, 다음으로는 재활용이 불가능한 종이류나 목재 등 가연성 폐기물은 소각하여 그로부터 발생하는 여열은 회수하고 소각재는 안전매립한다. 또한 소각시 유해가스를 배출하거나 소각로에 손상을 줄 수 있는 고무류, 비닐, 플라스틱류는 열분해 또는 건류 등을 이용하여 완전히 파괴하며, 여기에서도 에너지를 회수한다. 마지막으로 나머지 제대로 분리되지 않고 혼합되어 있는 폐기물은 위생매립으로 처리한다.

일반폐기물 관리체계와 마찬가지로 특정폐기물 관리체계는 먼저 재생가능한 폐기물을 분류, 수집하여 적절한 방법을 통하여 재이용하며, 중금속 슬러지 형태의 특정폐기물은 고형화 등의 처리단계를 거친 후 안전매립한다. 또한 PCBs(polychlorinated bipheyls)나 유기인을 포함하는 특정폐기물은 적절한 운전조건 및 대기오염 방지시설을 갖춘 소각로에 의하여 처리되어야 하며, 폐산 및 폐알칼리는 물리화학적 처리를 거친 후 발생하는 슬러지를 고형화하여 안전매립으로 처분한다. 합성수지와 같은 고분자 화합물의 경우는 일반폐기물의 고무, 비닐, 플라스틱과 같이 일반 소각방법으로 처리했을 경우, 소각로에 손상을 주거나 유독가스를 발생시킬 가능성이 있기 때문에 역시 열분해 등의 적절한 처리방법으로 처리하는 것이 효율적인 관리방법이라 하겠다.

이상과 같은 방법은 그 어느 것이나 친환경적이고 지속가능한 발전(ESSD, environmentally sound and sustainable development)의 기본개념인 4-E, 즉 경제성(economy), 에너지 및 자원(energy and resource), 환경(environment), 그리고 형평성(equity)을 근간으로 하여 재평가 및 재결정의 순환과정을 반복할 때야 비로서 현실적으로 구현되리라 사료된다.⁽¹⁶⁾

8. 맺음말

지금까지 폐기물의 분류 및 정의, 수거·운반 기술, 전처리 기술에서부터 중간처리 기술로서 소각 및 기타 퇴비화, 메탄발효, 열분해, 고체연료, 사료화, 알콜발효, 식용작물재배 기술 그리고 최종처분기술로서 매립 기술 및 해양투기 등 폐기물 처리기술의 전반을 포괄적으로 살펴보았다.

환경관리의 기본개념은 우선 폐기물의 발생을 최소화하고 재활용이 가능한 것은 재활용하며, 일단 발생된 폐기물은 자연의 자정능력 이내의 안정한 물질로 전환시키고 감량화시켜 자연의 생태계에서 순환하도록 환원시키는 것이라 하겠다. 이러한 의미에서 최근의 폐기물 처리기술 동향은 부지선정에 어려움이 많고 악취 및 침출수의 발생 등 많은 문제점을 갖고 있는 매립을 지양하고 최대한의 감량화와 재활용·자원화를 향해 나아가고 있다. 그러나 현재는 그 기술개발의 시작 단계에 불과하여 많은 노력에도 불구하고 실용화에는 다소의 시간이 필요한 것으로 사료된다. (3, 17~22)

무엇보다도 중요한 것은 앞서 언급한 제반 폐기물처리기술을 어떻게 하면 체계적이고 종합적으로 구성하여 적용할 것인가 하는 문제이다. 즉, 폐기물은 마치 인간의 삶을 대변이나 하듯이 복잡다단한 성분을 포함하고 있어서 중간처리 및 최종처분기술의 개발에만 노력을 기울일 수는 없으며, 정확한 분류와 수거 및 운반 체계의 최적화, 그리고 수거된 폐기물의 선별을 포함하는 전처리 조작 등이 폐기물 구성성분의 특성에 맞는 처리기술과 함께 유기적으로 연계되도록 해야 하며, 이를 위한 총체적 폐기물관리시스템의 토착화는 아무리 강조해도 지나치지 않는다. 아울러 폐기물 처리의 공학적인 측면이외에도 국민의 절대적인 협조와 정책적인 뒷받침이 선행될 때만이 이 땅에서 폐기물처리로

인한 문제가 사라질 수 있을 것이며, 환경기술을 또다른 국제무역장벽의 하나로 구체화하려는 그린라운드(G.R.; green round)에 적극적으로 대응하여 폐기물처리기술을 포함한 여타 환경기술을 세계화하고 수출하는 계기도 마련되어지리라 판단된다.

참고문헌

- (1) 환경처, 1993, 전국 일반 폐기물 실적('92) 및 계획('93).
- (2) 한국제지협회, 1993, 분해성 폐기물 종합자원화 기술개발연구(1).
- (3) 한국과학기술원, 1992, 유기성폐기물 자원화기술-산학협동공개강좌.
- (4) 서울대학교, 1991, "에너지 및 환경기술," 제16회 화학공학계속교육.
- (5) 한국자원재생공사, 1989, 폐기물 자원화 편람.
- (6) 황응주, 1993, "주방폐기물 퇴비화에서 Bulking Agent의 효과연구," 한국과학기술원 석사학위논문.
- (7) 환경처, 1994, 음식물쓰레기 종합관리 지침서(보도자료).
- (8) Boyle, W. C. and Ham, R. K., 1974, "Biological Treatability of Landfill Leachate," *JWPCF*, Vol. 46, No. 5, pp. 860~872.
- (9) Stegmann, R. and Ehrig, H. J., 1980, "Operation and Design of Biological Leachate Treatment Plants," *Pro. Wat. Tech.*, Vol. 12, pp. 919~947.
- (10) Bull, P. S., Evans, J. V., Wechsler, R. M. and Cleland, 1983, "Biological Technology of the Treatment of Leachate from Sanitary Landfills," *Wat. Res.*, Vol. 17, No. 11, pp. 1473~1491.
- (11) Song, D. M., 1991, "Odor Modeling Methodology for Determining the Odor Buffer Distance for Sanitary Landfills,"

- Ph. D. Dissertation*, Wayne State University, Detroit, Michigan.
- (12) Schumacher, M. M., 1983, "Landfill Methane Recovery," Noyes Data Corporation.
- (13) Limonet, 1985, "Methane Recovery from Landfill Gas in order to Produce Natural Gas by Means of Membranes," *Desalination*, Vol. 53, pp. 289~295.
- (14) 이승무, 김정현 공역, 1990, "폐기물 처리," 동화기술.
- (15) 환경처, 1993, '93-2001 국가폐기물처리종합계획(안)."
- (16) 유희찬, 1993, "지역특성과 분리수거형태를 고려한 일반폐기물 관리시스템의 최적화," 한국과학기술원 박사학위논문.
- (17) Robert, A. G., 1991, "Solid Waste Management in the U.S. Establishing a New Infrastructure," *The 5th International Symposium on Solid Waste Management Technology*, pp. 17~32.
- (18) Chongrak Polprasert, 1989, *Organic Waste Recycling*, John Wiley & Sons.
- (19) IRIS and WHO, 1990, *Urban Solid Waste Management*.
- (20) 남궁완, 최정영, 1993, "유기성 폐기물 자원화기술," 한국유기성폐기물자원화협회지, 제1권, 제1호, pp. 33~47.
- (21) 환경처, 1992, 부패성쓰레기 분리수거 및 적정처리방안 조사연구보고서
- (22) 신향식, 김수생, 1993, "유기성 폐기물의 자원화와 폐기물관리," 한국유기성폐기물자원화협회지, 제1권, 제1호, pp. 5~19. 