

## 유기성 폐기물의 자원화 가능성 및 퇴비 이용 전망 평가

신 항 식, 황 응 주\*

한국과학기술원 토목공학과  
\* 한국과학기술원 응용과학연구소

### State and Prospects of Organic Waste Composting in Korea

Hang-Sik Shin and Eung-Ju Hwang\*

Department of Civil Engineering, KAIST  
\* Applied Science Research Institute, KAIST

#### ABSTRACT

Generation and recycling potential of organic waste in Korea were estimated. Status of organic waste composting and compost utilization also were surveyed to promote the recycling of organic waste. From 1994 to 1997, generation of garbage decreased gradually while recycling rate increased due to positive governmental strategy. During the same period, livestock waste increased 11.2%. Municipal wastewater sludge was generated 3,500 ton/day which was 0.03% of wastewater treated in 1996. The energy potential of industrial organic waste was estimated to 288 million TOE which was 1.75% of the nationwide first energy consumption in 1996. Recycling of industrial sludge was low to 31%, while recycling of animal waste, plant scraps, and wasted paper were relatively high over 50%. Industrial sludge should be recycled more as it was the most part of industrial organic waste. Conventional composting materials were mainly livestock waste, food processing waste, fishery waste, sawdust, and nightsoil. Garbage and sludge have been composted recently. 420,000 tons of compost in 1996 were produced by 288 makers, the most of which were utilized in agriculture. It was suggested that separated collection, compost standard, and quality management should be provided to promote the composting of organic waste.

**Key words** : Organic waste, Recycling potential, Composting, Generation amount

## 초 목

본 연구에서는 국내 유기성 폐기물의 발생 현황과 자원화 가능성을 산출, 평가하고 현재의 퇴비화 처리 및 이용을 조사한 후 앞으로의 활성화 방안을 제시하였다. 먼저, 유기성 폐기물의 대표적인 음식물찌꺼기는 정부의 꾸준한 감소노력으로 점차 발생량이 감소하고 재활용율도 '97년 9.6%까지 점차 증가하는 추세에 있음을 알 수 있었다. 그러나 이러한 재활용율은 아직 미진한 수준으로 더욱 더 향상시키는 것이 필요하며 적극적인 분리수거, 재활용 체계 구축이 꾸준히 진행되어야 하는 것으로 판단되었다. 한편 '97년 전국 축산분뇨의 발생량은 126,339톤/일로서 '94년 발생량 112,750톤/일 보다 11.2%가 증가한 것으로 산출되었고, 전국 77개소의 하수종말처리장에서 발생하는 하수처리슬러지는 '96년도에 하수처리량의 0.03%에 달하는 하루 3,500톤 정도가 발생하는 것으로 나타났다. 사업장 일반 유기성 폐기물과 별도의 관리를 필요로 하는 사업장 지정 폐기물 중 유기물류 등 '96년도 전체 유기성 산업폐기물의 잠재에너지함량은 연간 288만TOE로 산출되었으며 이는 '96년 우리나라 1차에너지 총소비량 1억6천5백만TOE (통상산업부, 1997)의 1.75%에 달하는 것으로 평가되었다. 이중 폐수처리 오니는 재활용율이 31%대에 그치고 상대적으로 매립처리의 비율이 높은 상태로서 발생량이 큰 것을 감안할 때 향후 보다 더 재활용에 대한 고려가 필요한 것으로 분석되었다. 퇴비화 원료는 주로 축산폐기물, 인분, 식품가공 부산물, 어박류, 부엽토, 톱밥 등이었으며, 최근에 이르러 비료소 음식물쓰레기, 오니류의 퇴비화가 시도되고 있었다. 퇴비생산량은 '96년 4월 현재 288개 생산업체에서 약 42만톤 정도를 생산하고 있었으며, 농업용으로의 사용이 가장 많았고 그외 산림용이나 조경용으로의 사용은 매우 제한되어 있었다. 결론적으로, 퇴비 이용의 활성화를 위해 퇴비제품 규격의 표준화, 퇴비분석 및 품질관리 방법의 확립, 분리수거 및 퇴비화를 통한 품질 개선 등이 필요한 것으로 사료되었다. 특히 도시·산업 유기성 폐기물 퇴비의 사용 증대를 위해 확실한 부숙퇴비의 생산과 함께 중금속 등 유해물질을 줄이는 것이 퇴비 생산량의 증가 못지않게 중요하다 판단되었다.

**핵심용어** : 유기성 폐기물, 자원화 가능성, 퇴비화, 폐기물 발생량

### 1. 서 론

우리나라에서 발생하는 유기성 폐기물은 전체 폐기물 발생량의 절반 이상을 차지하고 있는 것으로 보고되고 있으며, 부패성이 크기 때문에 악취, 오수 누출 등의 여러가지 환경문제 유발 가능성을 가지고 있는 것으로 평가되고 있다. 따라서, 유기성 폐기물을 안정한 물질로 전환, 감량화시키기 위한 처리/처분기술이 폐기물처리의 가장 큰 부분으로 대두되고 있다. 한편, 유기성폐기물은 직간접적으로

생물의 에너지원으로 이용되거나 화석연료의 대체 에너지원으로 전환할 수 있는 요소를 상당부분 내포하고 있기 때문에 적절한 자원화 기술에 의해 안정화, 감량화시켜 부산물을 활용함으로써 부존자원의 소비를 줄여 경제성장을 도모하고 환경보존에 이바지할 수 있을 것으로 사료된다. 특히 유기성 폐기물을 퇴비화함으로써 생성되는 퇴비는 종래의 화학영양으로 황폐해진 농경지의 지력 증진과 농업생산성의 향상을 위해 사용할 수 있으며, 이의 활성화는 퇴비의 안정적인 처분지 확보를 통한 환경보존

이라는 측면과 유기영양의 활성화를 통한 국토 및 국민 보건과 농민의 소득향상에도 크게 이바지할 수 있는 장점이 있다고 판단된다. 그러나, 우리나라에서 유기성 폐기물의 퇴비화를 통한 자원화는 90년대 초반에 이르러 비로소 활발히 논의되기 시작한 것으로 기술 개발의 여지가 아직 많이 남아 있고 사회적인 분위기의 성숙이 좀더 필요하며, 다양한 제도 및 의식 개선도 요구되고 있는 것으로 판단된다. 특히, 최근에 사료비 급등에 따른 유기성 폐기물의 사료화 방안이 새로운 관심의 대상이 되고 있는 바 퇴비화와 사료화 방안 간의 적절한 대상 폐기물 비교 평가와 기술개발 및 경쟁력 확보 등 보다 더 깊은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다. 또한 현재까지 진행된 퇴비화 노력들을 종합적으로 살펴보고 앞으로의 개선방안을 살펴보는 것 역시 중요한 일일 것이다.

따라서 본 연구에서는 관련 문헌을 종합적으로 검토하여 국내 유기성 폐기물의 발생 현황과 자원화 가능성을 산출, 평가하고 현재의 퇴비화 처리 및 이용을 조사한 후 앞으로의 활성화 방안을 제시하였다. 특히, 최초의 유기성 폐기물 발생 및 자원화 가능성 평가 이후(신항식, 1992) 최근 자료의 제시가 미흡하였던 그간의 문제를 고려하여 유기성 생활쓰레기, 농축산폐기물, 산업폐기물, 하수슬러지 등 종합적인 유기성 폐기물의 발생 및 자원화 가능성을 최근의 관련 자료를 분석하여 산출, 평가하였다.

## 2. 유기성 폐기물의 자원화 가능성 및 퇴비화 현황

### 2.1 유기성 폐기물의 발생 현황 및 자원화 가능성

유기성 폐기물이라 함은 태양에너지로부터 생성된 유기체들이 여러가지 전환과정을 거치는 가운데 발생하는 폐기물로서, 발생원이 다양한 폐기물의 특성상 그 범주를 명확히 구별하기는 어렵지만, 생물학적으로 분해가 가능하거나 연소에 의해 산화되는 가연성 물질을 다량 함유하는 폐기물로 정의된다. 우리나라에서 발생하는 유기성 폐기물은 음식물찌꺼기나 종이류 등으로 구성되는 유기성 생활쓰레기를 비롯하여 농축산 폐기물, 임업폐기물, 수산 폐기물, 하수처리 슬러지 및 사업장 유기성 폐기물 등으로 분류할 수 있다. 한편 유기성 폐기물에는 연소가 가능하지만 생물분해는 어려운 성분도 포함되는데 이부분을 제외한 폐기물을 분해성 폐기물이라 일컫기도 하며, 보통 유기성 폐기물이라 하면 이러한 분해성 폐기물을 의미한다.

#### 2.1.1 생활폐기물

우리나라 생활폐기물의 발생량은 표 1에서 보는 바와 같이 지속적인 감량정책과 연탄소비의 감소, 발생량 산출방식의 변화 등에 의해 지속적으로 감소해오고 있었으며 특히 종량제의 실천이 있는 1995년에는 예견되었던 대로 급격히 감소하는 결과

Table 1. 생활폐기물 발생 및 처리 추이

발생/처리	1992*	1993	1994	1995	1997	2001
발생량(10 <sup>3</sup> 톤/일)	75.1	62.9	58.2	47.8	45.6	47.2
재활용(%)	7.9	11.5	15.4	23.7	28.0	35.0
소각(%)	1.5	2.4	3.5	4.0	8.0	20.0
매립(%)	89.2	86.1	81.1	72.3	64.0	45.0

\* 1992년의 처리방법이 1.4% 차이나는 것은 통계에서 처리방법이 불분명하기 때문임.

를 보였다. 장기적으로는 이러한 양상에 한계가 있어 생활폐기물의 발생은 점차 증가 추세로 돌아설 것으로 예상되나 종량제 실시로 인한 쓰레기 감량 효과는 충분히 거둘 수 있었던 것으로 평가되고 있다. 생활폐기물의 처리 방식에 있어서도 종량제의 실시로 인해 재활용율이 급격히 증가하였으며 이를 바탕으로 장기적으로는 2001년까지 재활용율을 35%, 소각율을 20%까지 끌어올릴 계획에 있다. 그러나 재활용은 주로 금속캔, 유리병, PET병, 종이팩 등이 대상으로 이들만을 완전히 재활용한다고 해도 35%의 재활용을 위해서는 전체의 31.6%에 달하는 음식물찌꺼기나 23.5%인 종이류의 재활용이 상당 부분 이루어져야 되는 상황이다(표 2). 특히, 쓰레기 종량제가 실시된 이후부터는 분리수거된 재활용품을 확실히 재활용하는 것과 함께 음식

물찌꺼기를 매립쓰레기로부터 분리해서 처리하는 것이 쓰레기 처리에 매우 중요한 관심사로 대두되고 있다. 즉, 이제 재활용품은 종량제 때문에 분리수거하는데 어려움이 없고 다만 확실한 재활용 체계만 갖추면 되지만 음식물찌꺼기는 별다르게 분리수거를 유도할만한 제도적 장치가 없기 때문이다. 그래서 가정에 별도로 음식물찌꺼기만을 따로 모아 버릴 수 있도록 종량제 봉투와 구별되는 다른 비닐 봉투를 나누어주는 방안이 종량제의 후속대책으로 검토되고 있기도 하다.

음식물찌꺼기는 생활쓰레기 중 가장 많은 부분을 차지하고 있고, 국민 1인당 음식물찌꺼기 발생량도 0.34kg/일로서 해마다 감소되고는 있으나 아직도 다른 나라에 비해 많이 발생되고 있는 실정이다(독일 0.27kg/day, 영국 0.26kg/day, 1995년). 발생

Table 2. 생활폐기물의 조성(1995)

성분	구성비율 (%)	성분	구성비율 (%)
가연성		불연성	
음식물찌꺼기	31.6	연탄재	6.8
종이류	23.5	금속 및 유리류	9.8
나무류	4.0	기타	100.0
기타	16.7		

Table 3. 음식물찌꺼기의 발생 및 처리 현황(1995)

	발생량 (톤/일)	구성비율(%)
발생원		
가정	6,181	41
상업시설		
식품접객업소	6,331	42
시장	1,960	13
집단급식소	603	4
성분		
채소류	8,005	53
생선류	2,804	19
곡류	2,216	15
과일류	2,050	14
처리방법		
매립	14,387	95
소각	372	3
재활용 (사료, 퇴비)	316	2
합계	15,075	100

량을 발생원별로 살펴보면 표 3처럼 음식점이 42%, 가정이 41%로 대부분을 차지하고 있고 성상별로는 채소류가 주종을 이루고 있다. 한국의 음식물찌꺼기는 국물이 많은 음식문화의 특성 때문에 수분함량이 75-85%로 매우 높고 유기물함량 역시 80%이상으로 높아 수거 및 운송 과정에서 부패하여 악취 및 침출수의 원인이 되며 소각시에는 보조연료가 필요하게 되는 문제가 있다(표 4). 특히 매립지 주변의 악취 및 침출수 과다 발생에 따른 토양 및 지하수의 오염, 침출수위의 상승과 이로 인한 제방벽 붕괴 위험의 근원이 되고 있다. 이로 인해 1996년 11월에는 실제 수도권 해안 매립지의 주민대책위가 음식물찌꺼기를 시한부 반입 거부키로 하는 사건이 발생하여 긴장이 고조되었던 바 있다.

반면 음식물찌꺼기는 적절한 bulking agent를 선정하여 75-85%로 높은 수분함량과 15-25정도로 낮은 C/N비를 적절히 맞추어 퇴비화하면 감량화, 안정화, 재활용이 동시에 이루어질 수 있게 된다. 또는 신선도를 유지한 상태에서 건조하거나 발효시켜 동물의 사료로 재활용할 수도 있어 1톤당 약 8만원으로 추산되는 재활용 효과를 기대할 수 있다. '95년 현재는 음식물찌꺼기의 95.4%가 매립처리된 반면 재활용되는 양은 하루 316톤으로서 전체의 2.1%만이 소규모 가축먹이 및 퇴비이용 등의 취약한 방법에 의하여 재활용되었고(표3), '96년에

는 이보다 다소 증가한 3.3%의 재활용율과 3.9%의 소각율을 올린 것으로 산정되었다. 재활용이 미진한 원인은 아직 표준화된 재활용기술이 정립되어 있지 않으며, 공공처리 시설도 초기 보급단계로 체계적인 재활용이 미흡한 실정에 있다. 무엇보다도 그간 정부는 소각을 위주로 하여 쓰레기 관리 정책을 수립하였기 때문에 음식물찌꺼기를 사료화 또는 퇴비화 방법으로 재활용하는 것에는 뚜렷한 대책을 갖고 있지 못했다. 다행히 '96년 12월초 환경보전위원회에서 "음식물쓰레기 줄이기 종합대책"을 심의, 확정하면서 음식물찌꺼기 재활용을 목표를 '97년 9.6%, '98년 25%로 설정하고 관련법규 및 시설을 확충하고 있는 상황이다(환경부, 1998).

2.1.2 농축산 폐기물

농축산 폐기물은 크게 농가 생활폐기물, 농산부산물, 그리고 축산폐기물등으로 대별되며 이중 축산폐기물은 최근 국내 축산업이 기업화, 전문화되어 가면서 계속적으로 배출량이 증대되어 전체 농축산폐기물 발생량의 대부분을 차지하고 있다.

축산분뇨 배출량은 축종별로 다르고 또한 같은 축종이라도 체중에 따라 다르게 평가될 수 있다. 본 연구에서는 1990년 한국과학기술원에서 조사된 축산분뇨 발생량 원단위(한국과학기술원, 1990)와 1997년 농림수산 주요통계의 양축두수(농림수산

Table 4. 음식물찌꺼기의 성상

특 성	범위	특성	범위
총밀도 (kg/m <sup>3</sup> )	755 - 832	수용성 TOC (%)	0.99 - 1.40
수분함량 (%)	76.2 - 83.5	수용성 TKN (%)	0.05 - 0.10
유기물함량 (%)	79.9 - 89.6	수용성 C/N (%)	9.9 - 28.0
pH	4.0 - 5.5	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.5 - 1.0
전기전도도 (mS/cm)	1.7 - 6.4	K (%)	1.6 - 5.0
염류 (%)	0.3	Ca (%)	1.3 - 3.1
TOC (%)	47.0 - 53.4	Mg (%)	0.3 - 1.4
TKN (%)	2.0 - 2.7	Na (%)	0.3 - 1.6
C/N	17.4 - 26.7		

부)를 이용하여 전국 축산분뇨의 발생량을 계산하였다. 표 5에 제시된 산출결과에 따르면 전국 축산분뇨의 발생량은 126,339톤/일로서 '94년 발생량 112,750톤/일(신항식, 1996) 보다 11.2%가 증가하였다. 축산분뇨 발생량을 BOD로 환산한 오염물질 발생량은 3,301톤BOD/일과 같다. 분과 뇨의 발생량을 비교하면 분이 뇨에 비하여 발생량이 많은 것으로 나타나며 축종별로는 한우, 돼지, 젓소, 닭의 순으로 나타난다.

가축분뇨는 표 6과 같이 높은 질소, 인산, 칼륨 함량을 지니고 있다. 축종별로 퇴비성분함량을 비

교하면 건조분에 있어 닭, 돼지, 소의 순으로 비료 성분이 높은 것을 알 수 있는데 이는 돼지와 닭과는 달리 소의 경우 주로 셀룰로스성분을 함유하는 곡류사료를 먹기 때문이다. 이를 퇴비화하였을 때 실제 발효퇴비의 비료성분 함량은 표 7에 나타난 바와 같다. 이 비료성분함량 수치들은 퇴비 생산 방식에 따라, 또한 퇴비생산 원료 축분에 따라 다소의 차이를 보이고 있으며 전반적으로는 원료에 비해 질소와 칼륨의 함량이 떨어지나 어느 정도 비료성분을 함유하고 있다(양창욱, 1993).

한편, 농가 생활폐기물은 단어가 의미하는대로 농

Table 5. 전국 축산분뇨 발생량 현황(1996)

항 목		젓 소	한 우	돼 지	닭
사육두수(천두)*		552	2,844	6,516	82,830
두당 배설량 (kg/일/두)**	분	30	15	3	0.1
	뇨	10	5	3	-
분뇨 발생량 (톤/일)	분	16,560	42,660	19,548	8,283
	뇨	5,520	14,220	19,548	-
	소계	22,080	56,880	39,096	8,283
합계		126,339			
두당 BOD 오염부하량 (gBOD/일/두)**	분	624.6	382.1	179.6	6.5
	뇨	35.8	222.1	212.0	-
BOD오염부하량 (톤BOD/일)	분	345	1,087	1,170	538
	뇨	20	63	78	-
	소계	365	1,150	1,248	538
합계		3,301			

\* 자료 : 농림수산부, 농림업 주요통계, 1997.

\*\* 자료 : 한국과학기술원, 전국 축산분뇨 적정관리대책 연구, 1990.

Table 6. 가축분뇨의 퇴비성분 함량(kg/m<sup>3</sup>)

구 분	질 소	인 산	칼 른
생분			
소	2.8	1.4	3.5
돼지	3.9	5.3	3.5
건조분			
소(dm10%)	4.7	2.4	5.9
돼지(dm10%)	6.7	5.8	3.7
닭(dm15%)	10.7	9.5	4.8

dm : dry matter(건조물함량)

Table 7. 발효퇴비의 비료성분 함량(%)

분 석 항 목	K 농장	L 목장	C 목장
유기물질량	20.4	-	23.28
전 질 소	0.72	1.21	0.79
인 산	1.58	5.62	2.53
칼 륜	0.97	2.94	0.84
칼 습	5.1	10.23	6.30

가에서 발생하는 생활폐기물로서 그 특성은 특별청 소지역의 일반 생활쓰레기와 특별한 차이가 없다. 그리고, 농산부산물은 벼짚, 왕겨, 곡류 탈곡후의 잔 여물, 야채, 과일찌꺼기 등 농작물 잔재로 이루어지 며 이중 벼짚과 왕겨가 전체의 대부분을 차지한다. 농작물 잔재는 수출입에 대한 통계(농림수산부, 1997)가 제시되고 있으나 전체 발생량에 대한 통계 는 확실히 보고되고 있지는 않다. 농림부 통계에는 식물성 유지, 유지가공류, 농산물납류, 식물성액즙, 박류, 사료, 기타 농산부산물 등 일정 부분 가공을 거친 농산부산물이 포함되고 있다. 마찬가지로 벼짚 과 왕겨의 발생량에 대한 자료도 1991년 바이오매스 자원조사(한국에너지기술연구소, KE-91031G, 1991) 이후로 조사 자료가 미비한 형편이다.

임산폐기물에는 원목의 채취과정에서 발생하는 폐목재와 제재소에서 발생하는 톱밥 및 목피 등이 포함된다. 이 역시 농림부 수출입 통계상의 분류에 따르면 임산부산물은 산채류, 버섯류, 과일류, 수지 류, 수피류, 엽류로 대별되나 전체 발생량은 포함되 지 않고 있다.

2.1.3 사업장 폐기물

사업장 일반 유기성 폐기물은 대별하여 제품 제 조과정에서 발생하는 폐기물과 폐수 및 오수처리 과정에서 발생하는 폐기물로 나눌 수 있다. 또한 별 도의 관리를 필요로 하는 사업장 지정 폐기물에도 폐유류, 폐유기용제, 폐합성수지류, 공정오니 등의 유기물류가 포함되어 있다. 표 8은 '96년의 전국폐

기물통계조사(폐기물센서스)결과를 바탕으로(환경 부, 1997) 각 업종별 및 성분별 사업장 일반 유기성 폐기물의 발생량을 나타낸 것으로 총 발생량은 27, 561톤/일에 달하고 있다.

업종별로는 음식료품제조업, 섬유제품제조업, 펄 프 종이 및 종이제품제조업, 전기 가스 및 수도사 업, 의복 및 모피제품제조업, 화합물 및 화학제품제 조업, 기타 공공 사회 및 개인서비스업, 고무 및 플 라스틱제품제조업의 순으로 발생량이 많았고, 이들 은 전체 발생량의 70%에 달하는 것으로 나타났다. 성분별로는 많은 사업장에서 폐수처리슬러지인 오 니류가 가장 많이 발생되어 전체의 55%를 차지하 였다. 그다음으로 폐플라스틱, 폐지, 동물성 잔재물 이 전체의 각각 15%, 10%, 8%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이중 우선적인 퇴비화 대상물질이라 할 수 있는 동물성 잔재물은 주로 농업, 수련업 및 임업, 어업, 가죽 가방 마구류 및 신발제조업, 음식 료품제조업, 의복 및 모피제품제조업 등에서 주로 발생되었다.

각 성분의 발열량에 대한 기존 분석자료들을 정 리하여 사업장 유기성 폐기물의 총발생량으로부터 총발생열량을 계산하고 다시 이를 등가원유환산량 (TOE, ton of oil equivalent)으로 환산하면 (1TOE=1.08x10<sup>7</sup>kcal), 6,086TOE/일 또는 연간 약 222만TOE의 에너지 회수 잠재량을 얻을 수 있다. 여기에 표 9의 사업장 지정폐기물 중 유기물류까지 합하면 대략 연간 288만TOE가 되며 이는 '96년 우 리나라 1차에너지 총소비량 1억6천5백만TOE (통상

Table 8. 사업장 폐기물 중 가연분 발생량 및 함량(%) (1995)

업종명	발생량 (톤/일)	폐지류	폐 목재류	폐플라 스틱	폐 고무류	폐 가죽류	폐 섬유류	오니류	동물성 잔재물	식물성 잔재물	기타
농업, 수련업 및 임업	302	6.4	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	59.8	3.5	1.6
어업	131	0.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	50.1	47.4	0.0	0.0
광업	98	1.8	0.9	1.4	0.8	0.0	0.4	94.7	0.0	0.0	0.0
음식료품제조업	3,455	9.7	0.5	4.4	0.0	0.0	0.1	48.9	29.4	6.3	0.7
담배제조업	3	62.6	2.2	13.9	2.5	0.0	6.7	7.7	0.0	2.3	2.1
섬유제품제조업	3,425	3.6	0.3	3.2	1.1	0.0	23.7	58.6	9.4	0.0	0.1
의복 및 모피제품제조업	1,922	1.5	0.0	0.9	0.0	0.0	2.2	69.4	25.9	0.0	0.2
가죽, 가방, 마구류 및 신발제조업	483	0.4	0.2	0.8	2.2	5.9	2.7	50.5	37.4	0.0	0.0
목재 및 나무제품제조업	221	21.1	54.6	19.5	1.3	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0
펄프, 종이 및 종이제품제조업	3,364	10.2	0.3	29.3	0.0	0.0	0.8	59.2	0.0	0.0	0.1
출판, 인쇄 및 기록매체복제업	198	62.5	0.2	24.4	0.0	0.0	0.2	10.1	0.0	0.0	2.6
코크스, 석유정제품 및 핵연료제조업	51	7.9	6.2	5.5	0.4	0.0	4.6	75.4	0.0	0.0	0.0
화합물 및 화학제품제조업	1,872	4.6	1.1	22.8	0.2	0.0	2.6	66.5	0.0	1.2	0.9
고무 및 플라스틱제품제조업	1,136	5.8	1.4	43.8	19.8	0.0	0.2	28.7	0.0	0.0	0.3
비금속광물제품제조업	851	4.7	1.8	15.6	1.1	0.0	1.2	74.9	0.0	0.0	0.6
제1차금속산업	441	3.1	3.0	31.3	0.4	0.0	1.3	60.3	0.0	0.0	0.5
조립금속제품제조업	614	7.8	7.7	13.9	0.0	0.0	0.5	69.8	0.0	0.0	0.3
달리분류되지않는기계 및 장비제조업	478	15.2	17.5	11.3	0.8	0.0	0.6	53.3	0.0	0.0	1.3
사무, 계산 및 회계용기계제조업	25	63.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	29.3
달리분류되지않는전기기계 및 전기변환장치제조업	237	25.6	15.3	32.5	0.0	0.0	0.2	23.0	0.0	0.0	3.3
영상, 음향 및 통신장비제조업	706	12.9	8.1	43.1	0.1	0.0	0.4	35.0	0.0	0.0	0.4
의료, 정밀, 광학기기 및 시계제조업	22	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
자동차 및 트레일러제조업	340	18.7	4.3	47.0	5.4	0.0	2.7	18.5	0.0	0.0	3.4
기타운송장비제조업	127	18.9	46.6	13.4	10.2	0.3	3.1	3.1	0.0	0.0	4.3
가구 및 기타제조업	404	11.7	26.2	38.0	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0	0.0	0.0
재생재료가공처리업	14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
전기, 가스 및 수도사업	2,375	0.1	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	99.3	0.1	0.1	0.0
건설업	492	4.8	64.5	6.8	0.0	0.0	1.7	22.1	0.0	0.0	0.0
운송, 창고 및 통신업	460	36.4	16.1	5.3	41.1	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
금융 및 보험업	120	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
부동산, 임대 및 통신업	991	21.1	13.2	59.7	0.0	0.0	0.7	5.1	0.3	0.0	0.0
공공행정, 국방 및 사회보장행정	103	33.3	10.9	0.3	0.0	0.5	0.3	54.6	0.0	0.0	0.0
교육서비스업	302	68.8	9.5	12.6	3.2	1.6	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
보건 및 사회복지업	190	51.1	8.2	3.2	0.1	0.9	0.0	33.8	0.0	0.5	2.2
기타공공, 사회 및 개인서비스업	1,608	16.4	0.9	2.3	0.7	0.0	0.0	79.9	0.0	0.0	0.0
총발생량 및 각성분함량	27,561	10.1	3.6	15.1	1.8	0.1	4.4	55.2	8.3	0.9	0.5
발 열 량(kcal/kg)	2,385	2,646 <sup>1</sup>	3,299 <sup>1</sup>	7,649 <sup>1</sup>	6,344 <sup>2</sup>	3,672 <sup>2</sup>	5,660 <sup>3</sup>	525 <sup>2</sup>	1,791 <sup>4</sup>	1,791 <sup>5</sup>	4,596 <sup>1</sup>
에너지회수잠재량(TOE/일)	6,086	682	303	2,947	291	9	636	740	379	41	59

- 1 : 참고문헌 13, (생활계폐기물중 소규모 공장부분)
  - 2 : 참고문헌 7, (1990년도 수도권 및 영남지역 산업폐기물 발생특성 분석 자료)
  - 3 : 참고문헌 6, (1990년도 영남지역 합성섬유계 폐기물 발생특성 분석 자료)
  - 4 : 참고문헌 11, (경기지역 피혁공장 발생 폐우지 및 shaving dust 특성 분석 자료)
  - 5 : 동물성잔재물의 발열량과 동일한 것으로 간주(분석자료 미비)
- ☞ : 함량이 10% 이상인 경우



Table 9. 사업장 지정폐기물 중 유기물류 발생량 (1996)

폐기물 분류	발생량 (톤/일)	발열량 (kcal/kg)	에너지 회수 잠재량 (TOE/일)
폐유	1,508	5,893 <sup>1</sup>	823
폐유기용제	1,174	5,893 <sup>2</sup>	641
폐합성고분자화합물	479	6,963 <sup>1</sup>	309
공정오니	437	525 <sup>3</sup>	21
합 계	3,598	5,385	1,794

참고문헌 7, (1990년도 수도권 및 영남지역 산업폐기물 발생특성 분석 자료)

2: 폐유의 발열량과 동일한 것으로 간주 (분석자료 미비)

3: 표8 오니류와 동일한 것으로 간주 (분석자료 미비)

Table 10. 사업장 유기성 폐기물 처리 현황 (1996)

폐기물 구분	재활용	소각	매립	해양투기	보관	기타
사업장 일반폐기물(유기물)	34.8	24.2	23.5	-	0.1	17.3
폐지류	53.4	30.1	9.9	-	0.6	6.1
폐목재류	40.1	45.3	14.0	-	0.1	0.5
폐플라스틱류	20.4	75.6	3.8	-	0.1	0.1
폐고무류	12.9	44.4	7.9	-	0.1	34.5
폐가죽류	54.9	27.6	17.5	-	-	-
폐섬유류	32.6	63.1	3.9	-	-	0.5
오니류	31.0	6.9	34.4	-	-	27.7
동물성잔재물	65.9	5.2	23.0	-	-	5.9
식물성잔재물	71.9	-	2.6	-	-	25.5
기타	8.6	61.2	27.9	-	-	2.3
사업장 지정폐기물(유기물)	22.1	59.4	6.9	-	0.1	11.5
폐유	21.2	56.9	8.0	-	0.3	13.6
폐유기용제	20.8	72.1	0.1	-	-	7.1
폐합성고분자화합물	9.6	83.3	1.5	-	-	5.6
공정오니	42.9	6.8	28.0	-	-	22.3

산업부, 1997)의 1.75%에 달한다.

그러나 현재 재활용되는 부분과 에너지회수시의 효율 등을 고려하면 실제 에너지회수 잠재량은 이 보다 적을 것으로 사료된다.

한편 사업장 유기성 폐기물의 처리 현황은 표 10에서와 같이 일반폐기물 34.8%, 지정폐기물 22.1% 등 비교적 기대이상의 높은 재활용율을 보이고 있으며, 특히 동식물성 잔재물과 폐가죽류, 폐지류는 50%이상의 높은 재활용율을 기록하고 있다. 반면 폐수처리 오니는 재활용율이 31%대에 그치고 상대

적으로 매립처리의 비율이 높은 상태로서 오니류의 발생량이 큰 것을 감안할 때 향후 보다 더 재활용에 대한 고려가 필요한 것으로 분석된다. 앞서도 살펴 보았듯이 음식료품제조업, 섬유제품제조업, 펄프 종이 및 종이제품제조업 등의 폐수처리오니는 그 발생량도 많고 유해성분의 함량이 적을 수 있으므로 퇴비화 처리를 통한 재활용이 기대되는 바이다. 그리고 지정폐기물에서는 상대적으로 소각처리의 비중이 높은 편으로 이는 이들 폐기물은 상대적으로 유해성이나 발열량 면에서 소각처리가 유리하기 때문

인 것으로 풀이된다.

2.1.4 하수처리슬러지

'96년 현재 국내에 설치된 하수종말처리장은 79개소로서 이중 시험운전중인 2개소를 제외한 전국 77개소의 처리장에서 발생하는 하수처리슬러지는 표 11에서와 같이 하루 3,500톤 가까이 되며 이는 '96년 하수처리량의 0.03%에 달하는 양이다(환경부 상하수도국, 1997). 대부분이 표준활성슬러지 처리시설에서 발생하는 것으로 보고되고 있으며, 이들 슬러지의 처리비는 전체 하수종말처리장의 연간 운영비 1,896억원의 12.7%인 240억원 정도가 된다. 처리는 대부분 육상매립과 해양투기에 의하고 있으며 재활용과 소각은 미미한 수준에 그치고 있다. 일부 하수처리 사업소에서는 표 12와 같이 퇴비화나 지렁이 사육 등으로 재활용되고 있는 상황이지만 전체 하수슬러지 발생량에 비할 때 그 양은 미미하다 할 수 있다. 하수처리슬러지의 퇴비화를 위해서는 중금속 등 잠재적인 유해물질에 대한 대비책이 있어야 하며, 중금속의 거동 파악, 타물질과의 혼합에 의한 희석, 또는 생산된 퇴비의 별도 이

용방안 등 앞으로 연구되어야 할 여지가 많이 있다.

2.2 유기성 폐기물의 퇴비화 현황

2.2.1 유기질 비료의 생산 현황

국내에서는 주로 축산폐기물, 인분, 식품가공 부산물, 어박류, 부엽토, 톱밥 등을 이용하여 퇴비를 제조, 판매하고 있으며, 특히 최근에 이르러 비료소 음식물쓰레기, 오니류 등 유해 오염물의 오염 가능성이 비교적 적은 폐기물을 대상으로 퇴비화를 시도하고 있다. 국내 부산물비료 생산은 표 13, 14에 나타난 것과 같이 대부분 퇴비와 건계분이 주종을 이루고 있고, 96년 4월 현재 288개 생산업체에서 약 42만톤 정도를 생산하고 있으며 이중 농협, 축협, 영농조합 등을 제외한 전문업체는 70%정도가 된다(환경부, 1998). 판매방식은 단위농협, 대리점, 농약상 등을 통하여 이루어지고 있으며 거래가격은 종류에 따라 다소 상이하지만 대체로 2,000 - 3,000원/포(20 kg)으로 형성되고 있다. 이에 따라 연간 시장규모는 1,000억원에 이르는 것으로 추정된다. 이러한 수요량은 유기영농을 통한 농민 소득향상이 이루어

Table 11. 하수슬러지 발생 및 처리 현황(1996)

발 생		처 리	
하수종말처리장 시설용량(77개소 운전)	11,376.4 천톤/일	육상매립	75.9 %
하수처리 실적	11,526.1 천톤/일	해양투기	20.3 %
하수슬러지 발생량	3,495.3 톤/일	재이용	3.5 %
하수처리 톤당 슬러지 발생비율	0.0303 %	소각	-
연간 슬러지 처리비용	23,988 백만원	기타	0.8 %

Table 12. 하수슬러지 재이용 현황(1996)

구 분	재 이 용 방 법				
	계	퇴비활용	조 경	지렁이사육	기 타
처 리 장 수	18	13	4	5	2
재이용량(톤/년)	44,896	29,748	3,453	10,111	1,084
비 율(%)	100	66.3	8.8	22.5	24

주) 5개소(춘천, 수원, 수영, 천안, 청주) 중복

Table 13. 국내 비료 생산업체 현황(1996)

보통비료	무기질 비료	복합비료	유기질 비료	토양 개량제	고토비료	미량요소	기타	계
	8	38	28	61	5	8	5	153
부산물비료	전문업체	농협	축협	영농조합	기타	계		
	203	41	6	35	3	288		

Table 14. 연도별 비료 생산량(천톤)

구분	1991	1992	1993	1994	1995
보통비료	2,383	2,612	2,678	2,705	2,776
부산물비료	225	270	309	496	419
계	2,608	2,882	2,987	3,201	3,195

Table 15. 음식물찌꺼기 자원화시설 현황(단위 : 개소, 톤/일)

구분	계		공공시설		민간시설	
	시설수	처리규모	시설수	처리규모	시설수	처리규모
계	145	3,570.8	82	1,549.8	63	2,021.0
가동시설	91	1,492.8	45	450.8	46	1,042.0
계획시설	54	2,078.0	37	1,099.0	17	979.0

지면서 관심이 집중되어 장래에는 더욱 크게 증가할 것으로 판단되어 이를 충족시킬 수 있는 대체 유기성 폐기물의 확보 및 생산되는 퇴비의 품질관리에 더욱 유의해야 한다.

한편 생활쓰레기 중 음식물찌꺼기의 자원화시설은 '94년도의 식품접객업소, 집단급식소 감량의무화 실시에 따른 소규모 감량화 처리장치를 시작으로 해서 '96년말 음식물찌꺼기의 매립이 사회 문제로 대두되면서 대규모 시설에 대한 설치가 본격화되었고, '97년 현재는 표 15에 나타난 바와 같이 전국적으로 총 91개, 1492.8톤/일의 음식물찌꺼기 자원화시설이 설치 가동중에 있으며 설치 또는 계획중에 있는 시설도 54개, 2,078톤/일 규모에 달한다(환경부, 1998). 음식물찌꺼기 자원화시설 1개소당 평균 처리규모는 현재 가동중인 시설이 16.4톤/일, 계획중인 시설이 38.5톤/일로서 개소당 시설규모가

커지고 있는 추세이다. 또한 현재 가동 중인 처리시설 중 퇴비화 시설이 55개소로서 60%를 차지하고 있기도 하다. 한편 대규모 접객업소에서 발생하는 음식쓰레기를 발생원에서 건조발효하는 고속발효장치도 다양하게 개발, 보급되고 있으며 음식물찌꺼기 감량화기기 품질인증기준을 통과한 제품을 생산하는 업체는 '97년 현재 34개소에 달하고 있다.

### 2.2.2 유기질 비료의 소비 현황

우리나라 유기질 비료의 수요처 및 소비현황을 살펴보면 표 16에서와 같이 농업용으로서의 사용이 가장 많은 것으로 나타나며, 그외 산림용이나 조경용으로서의 사용은 매우 제한되어 있다. 따라서 유기질 퇴비의 품질에 따라 보다 폭넓은 사용처의 확보가 퇴비의 품질개선 노력과 함께 이루어져야 하리라 판단된다. 아울러 농업용으로서의 퇴비 수요는

Table 16. 퇴비의 수요처별 소비 현황(추정)

소비처 구분		비료 종류/소비량	특징	비고
농업용		화학비료 922,545 톤/1992년	봄철(3-5월)에 집중	가장 큼
산림용		고형복비 2,500 - 3,000 톤/년	퇴비사용 기피	봄:가을=7:3
조	지방자치단체 (서울시)	총 사용량 618 톤/1993년	건계분, 퇴비,부엽토 등을 주로 사용	
	토지개발공사	퇴비: 1,041톤/1993년	조경공사비의 0.5%	
경	주택공사	퇴비: 192.5 톤/1993년 복비: 5.5 톤/1993년		
	도로공사	퇴비: 308 톤/1994년 금비: 71.7 톤/1994년		계획량임

주로 봄철의 3-5월에 집중되는 것으로 나타나 문제점으로 지적되고 있다.

이 상승하게 된다는 점은 퇴비화 공정이 극복해야 할 과제로 지적되고 있다.

### 3. 유기성 폐기물의 퇴비화 기술

#### 3.2 폐기물 퇴비화 처리의 구성

#### 3.1 개요

퇴비화 기술은 환경에 악영향을 미치지 않고 호기성 조건에서 생물학적으로 유기물을 안정화시키는 유기성폐기물 자원화 방법의 하나이다. 즉 음식물쓰레기, 축산폐기물, 낙엽 혹은 유기성 슬러지와 같은 유기물을 대상으로 하여 고분자이고 안정한 상태의 부식토(humus)로 변환시키는 생화학적 공정이다. 퇴비화 공정은 매립시 문제가 되는 악취나 지하수 오염이 없으며, 퇴비화 기간에 발생하는 열에 의해 병원균을 제거하는 효과를 가져오고, 토양에 뿌릴 경우 수분보유력과 지력을 향상시키는 토양 개량제로서의 역할도 하게 된다. 아울러 퇴비화 과정 중 유기탄소가 미생물의 호흡에 의해 이산화탄소로 소실되므로 전체적인 폐기물의 부피가 상당량 감소한다. 그러나 비료로서 가치가 낮다는 점과 지속적인 시장의 확보가 어렵다는 점, 그리고 기계식이 아닌 경우 부지가 많이 필요하므로 처리비용

음식쓰레기를 비롯한 각종의 유기성 폐기물로 유효하거나 위험을 초래하지 않는 것은 퇴비화 대상 물질이 될 수 있다. 일반적인 폐기물 퇴비화 공정의 구성은 그림 1과 같이 전처리, 고속발효, 숙성발효, 후처리 등으로 구성된다. 대체로 식품가공, 제지, 도축 및 피혁슬러지 등 각종 공정 슬러지와 하수처리 슬러지 등은 비교적 균질한 특성을 갖기 때문에 전처리는 함수율이나 C/N 비 조절 등의 간단한 경우가 대부분이다. 하지만 도시폐기물은 매우 다양한 성분의 집합체이므로 특별한 전처리 과정을 통한 퇴비화 대상물질과 불가능한 불순물을 분리할 필요가 있다. 이러한 도시폐기물의 전처리는 여러 곳에서 이루어질 수 있다. 즉, 발생원에서 퇴비화 대상 유기성 폐기물을 분리수거하거나 쓰레기 적환장 또는 물질회수시설에서 분리, 퇴비화 공장내에서의 분리 등이 있다.

전처리된 퇴비원료가 1단계의 고속발효공정으로 넘어가는 과정에 첨가제, 팽화제, 반송퇴비 등을 적

절히 혼합해 주어야 하며, 이는 발효가 최적 조건에서 일어나도록 하기 위함이다. 팽화제는 폐기물의 통기성을 개선하기 위해 첨가하는 물질로 대체로 퇴비가 느리기 때문에 퇴비화 후 분리하여 재사용한다. 팽화제로는 나무조각, 수피 등을 흔히 사용하며, 드물게는 잘게 파쇄한 페타이어를 쓴 경우도 있다. 또한 반송퇴비는 퇴비화 미생물의 식중효과와 폐기물의 수분조절을 목적으로 혼합한다.

1단계 고속발효기간에서는 유기물이 빠른 속도로 분해되어 산소요구량이 높고 반응온도도 매우 높아진다. 따라서 병원균이나 잡초종자 등 바람직하지 못한 물질의 사멸이나 불활성화하는데 매우 중요하다. 2단계 숙성발효 공정에서는 분해가

어려운 고분자 물질이나 고속퇴비화 과정에서 생성된 중간생산물 등이 서서히 분해되는 단계로 온도가 높아지지 않는 특성이 있으며, 퇴비를 안전하게 사용될 수 있도록 하는 단계이다. 마지막으로 후처리 공정에서는 발효가 완료된 후 퇴비에 혼입된 유리조각, 돌, 플라스틱, 철 등 이물질 제거하고 퇴비를 입경에 따라 분리하여 용도에 맞게 처리할 수 있도록 한다. 또한 퇴비의 용도에 따라 비료성분을 첨가하거나 포장하여 상품화하는 일도 이 범주에 포함된다.

### 3.3 퇴비화 운전조건

퇴비화 공정중 유기물이 생물학적으로 활발히 분해됨에 따라 운전관리에 유의해야 하는 단계는 고속발효공정이며, 숙성발효는 비교적 어려움 없이 이루어 질 수 있다. 고속발효단계의 퇴비화는 대상

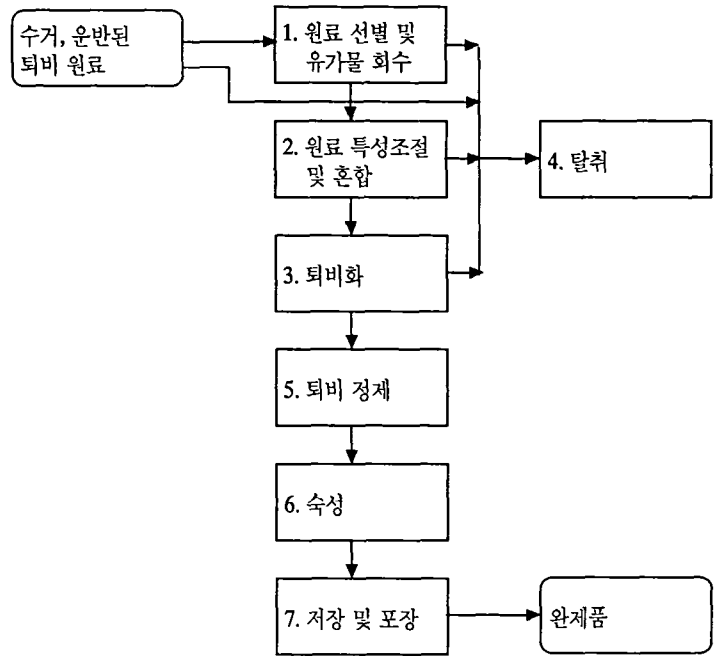


Fig. 1. 일반적인 폐기물 퇴비화 공정의 흐름도

폐기물의 물리적 성질, 전처리 유무, 화학적 조성(영양분, 유독성 물질 함유 여부), 퇴비화 미생물의 보유 정도, 환경인자(수분함량, 산소 공급, 외부온도, pH 등), 퇴비화 방식 등의 영향을 받는다. 일반적으로 잘 알려진 퇴비화 영향인자의 적정 조건은 표 17과 같다.

### 3.4 퇴비화 기술의 종류

#### 3.4.1 대규모 퇴비화

지금까지의 연구결과 다양한 퇴비화 기술이 개발되어 실용화되고 있다. 퇴비화의 종류는 퇴적 방식, 공기공급 방법, 교반 방법, 반응기 이용 여부 등을 기준으로 구분하며, 일반 농가에서 사용하는 채래식 퇴비화법에서부터 반응기 및 기계화 장치를 이용하는 현대적 기술까지 매우 종류가 많다. 실제로 폐기물 처리에 효과적으로 이용될 수 있는 비교적

Table 17. 퇴비화 시설의 운전조건

구 분	역 할 및 효 과	적 정 조 건
입자크기	<ul style="list-style-type: none"> <li>-작을수록 표면적이 증가하여 분해속도 향상</li> <li>-너무 작으면 통기성 악화로 인한 분해도 저하</li> </ul>	1.3 - 1.5 cm
수분함량	<ul style="list-style-type: none"> <li>-물질전달의 매체, 퇴비화됨에 따라 점차 감소</li> <li>-30% 이하: 반응이 저해되기 시작</li> <li>70% 이상: 혐기성 조건 초래, 악취발생</li> <li>-폐기물의 특성에 따라 다소 상이함</li> </ul>	50 - 70 %
온도	<ul style="list-style-type: none"> <li>-60℃ 이상: 미생물 종류 및 활성도 감소</li> <li>-병원균, 잡초 종자 사멸을 위해 일정기간 고온기간 유지</li> </ul>	55 - 60 ℃
산소공급	<ul style="list-style-type: none"> <li>-호기성의 유지 및 온도조절 기능</li> <li>-5 - 15%가 퇴비내에 잔존하도록 유지</li> <li>-퇴비의 건조와 온도조절을 목적으로 하는 경우 송기량 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-호기성 유지시 : 50-500 l/min.m<sup>3</sup></li> <li>-온도조절시 : 2500 l/min.m<sup>3</sup> 이상</li> </ul>
C/N비	<ul style="list-style-type: none"> <li>-미생물의 동화작용에 필요한 영양물질 공급</li> <li>-낮은 경우 : 질소 손실, 냄새 및 부식 유발</li> <li>-높은 경우 : 질소부족으로 인한 퇴비화 지연</li> </ul>	25 - 40
pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>-폐기물의 pH 완충능력이 낮아 쉽게 변화</li> <li>-유기산, 암모니아에 의해 pH가 좌우됨</li> </ul>	5.5 - 8.5

규모가 크고 실용화된 퇴비화법을 기술하면 표 18과 같으며, 현재 미국에서 슬러지처리에 사용되고 있는 퇴비화 공정은 표 19와 같다.

3.4.2 소규모 퇴비화

음식물찌꺼기는 대규모 시설까지 수거 운반되는 동안 부패 또는 변질되기 쉽고 악취 및 침출수발생으로 인한 민원의 문제가 발생할 수 있으므로 현지에서 일차로 일정 부분 안정화 및 감량화하여 대규

모 시설로 이송, 추가 처리하는 방법도 대안이 될 수 있다. 특히, 음식물찌꺼기를 다량으로 배출하는 일정 규모 이상의 식품접객업소, 집단급식소, 시장 등에서 이러한 일차 처리를 할 경우 감량화로 인해 수거 운반비가 감소되고 배출업자 스스로의 적극적인 재활용이 가능하게 된다. 이러한 발생원에서의 감량처리를 위해 현재 이용되고 있는 기기의 종류는 표 20에 나타낸 바와 같이 건조 방식, 발효건조 방식, 발효방식, 소멸방식 등이 있다. 표 20에서와

Table 18. 퇴비화기술의 종류 및 특징

구 분	특 징	기술적용 예
수동식 퇴비화 (Passive Composting)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재료를 단순히 쌓아 두면서 부숙시키는 방법으로 특별한 관리를 실시하지 않음</li> </ul>	- 재래식 퇴비화
야적식 퇴비화 (Windrow)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 좁고 긴 더미를 만든 후 주기적으로 교반하여 혼합과 산소공급</li> </ul>	- Windrow
송풍형 더미식 (Aerated Piles)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 구멍이 뚫린 관을 바닥에 설치하여 산소를 송풍기로 공급</li> <li>- 교반장치로 교반</li> </ul>	- Aerated Static Piles
반응기 이용 퇴비화 (In-Vessel Composting)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 반응기를 이용하여 퇴비화</li> <li>- 강제 송풍식 산소공급</li> <li>- 기계적 혼합</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bin Composting</li> <li>- Silo Types</li> <li>- Rotating Drums</li> </ul>

Table 19. 미국에서의 슬러지 퇴비화 현황(1991년 현재)

구 분	운전중	건설중	허가, 설계	Pilot scale	고려중	운전중단
Aerated Static Pile	77	4	9	6	5	3
In-Vessel	27	10	27	1	8	6
Windrow	33	4	6	11	5	2
Aerated Windrow	10	-	1	-	2	-
Static Pile	2	-	1	-	1	-
계	149	18	44(2)	19	22(10)	11

( )안은 공정이 확정되지 않은 경우

같이 각 기기의 성능을 비교해 보면 소멸 방식을 제외한 기타 방식의 경우 미생물 발효 과정에서 나타나는 온도, pH, 이산화탄소 발생 등이 미미하여 단순건조가 지배적인 것으로 분석된다. 반면, 소멸방식은 운전비용이 저렴하고 감량효율이 우수하나 염분농도가 높은 문제가 있다(환경부, 1998).

1) 건조방식

건조방식은 건조조 내에 음식물찌꺼기를 투입하고 열풍이나 히터를 이용하여 건조조 내부온도를 약 70℃이상의 온도로 가열하여 음식물찌꺼기에 포함된 수분만을 증발시키는 단순처리방식이며 이렇게 생성되는 부산물은 퇴비로 토양에 직접 시비할 때는 미분해 물질에 의해 식물생장에 악영향을 미칠 우려가 있어 주로 사료로서의 이용가치가 인정된다.

2) 발효방식

발효 방식은 발효조, 공기공급 및 유량 조절장치

와 교반장치, 온도 측정장치 등으로 이루어진 기계 내에서 유기물질을 다양한 미생물에 의해 생물학적으로 분해, 안정화시키는 방식으로 충분한 반응시간을 유지하면 매우 안정된 최종산물을 생산할 수 있다.

3) 발효건조방식

발효 건조 방식은 건조와 발효를 병행하는 방식으로 발효에 의해서 유기물이 분해되려는 단계에서 건조가 일어나기 때문에 수분함량이 발효에서 요구되는 정도를 유지하지 못하므로 더 이상 발효반응은 진행되지 않고 단순건조가 되는 경우가 많다.

4) 소멸화

소멸화란 일정한 퇴비화 장치 내에 수분을 조절할 수 있는 통기개량제를 넣어 두고 음식물찌꺼기를 매일 일정량씩 넣어 부피증가 없이 분해시키는 방식으로 발효방식의 운전을 변형한 방법이다. 하루 1kg 처리용량의 소규모 퇴비화 장치에 대한 회분식 운전방법과 소멸식 운전방법 간의 성능 비교

Table 20. 음식물찌꺼기 감량화기기 종류별 성능 분석

	건조방식	발효건조방식	발효방식	소멸방식
수분제거효율 (%)	96.8	87.8	62.9	76.4
염분농도 (%)	2.2	1.3	1.0	3.3
pH	4.7	5.4	5.8	8.0
감량율 (%)	77.6	73.9	50.1	78.7
운전비용 (천원/월) <sup>1)</sup>	223	120	119	52

1: 60kg/일 처리규모 기준

실험을 한 결과에 의하면(표 21), 소멸식 운전은 동일한 수준의 음식물 처리에 필요한 톱밥의 양, 발생되는 퇴비의 양, 퇴비 제거 작업의 필요성 유무 면에서 회분식 운전에 비하여 장점이 있는 것으로 밝혀졌다(신항식 외, 1997). 즉, 소규모 퇴비화 장치의 운전은 대부분 음식물찌꺼기 발생자가 담당하게 되므로 무엇보다 운전 작업이 용이하고 간단해야 한다는 면에서 가능한 퇴비의 제거 횟수 및 제거량이 적고 새로운 톱밥을 적게 필요로 하는 소멸식 운전방법이 유리하다고 할 수 있다.

식물찌꺼기 등의 유기물 성분별 함량을 분석한 결과를 도시하고 있는데, 이에 따르면 반응기간 동안 지질, 당, 헤미셀룰로스 등과 같이 분해가 용이한 화합물의 함량이 감소하여 결국 퇴비가 안정화되어 가고 있으며, 특히 음식물찌꺼기내 이들 물질

의 함량이 높았던 점을 감안할 때 매일 첨가되었던 음식물찌꺼기의 안정화가 효과적으로 진행되었음을 알 수 있었다(신항식 외, 1997). 동 실험에서 지질, 당, 헤미셀룰로스 등 쉽게 분해되는 물질의 소멸식 퇴비화 운전에서의 분해율은 약 70% 정도인 것으로 밝혀졌다(황응주, 1998). 반면 리그닌, 셀룰로스, humus 등의 분해율은 20% 미만으로 매우 미미한 수준이었다. 이는 일반적으로 소멸식 퇴비화의 원리로서 알려진 100%의 유기물 분해 및 수분 증발과는 상이한 결과로서 장치 내 혼합물의 건조중량이 일정 수준으로 유지되기보다는 약간씩 증가하게 될 것임을 알 수 있다. 결과적으로 소멸식 장치라고 해도 일정기간 후에는 퇴비의 제거가 있어야 할 것이라 사료된다.

Table 21. 소규모 퇴비화에서 소멸식 운전방법의 효과

항 목	회 분 식 운 전	소 멸 식 운 전
실험운전 기간 (day)	65 (7 - 11 회)	65
음식물찌꺼기 처리량(kg-ds/65day)	7.9 - 12.0	8.4 이상
톱밥 사용량 (kg-ds)	24.5 - 37.2	3.4
퇴비 생산량 (kg-ds)	25.0 - 38.2	6.7 이상
퇴비 제거 여부	제거 필요 (7 - 11 회)	제거 불필요

ds : dry solid (건조 고형물)

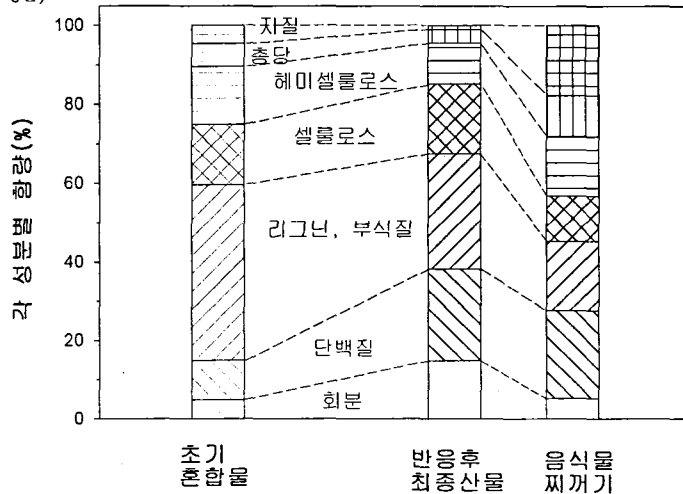


Fig. 2. 소규모 소멸식 퇴비화에서 유기물 성분의 변화



3.5 퇴비의 숙성도

퇴비의 숙성도는 작물에 대한 잠재적 독성, 일시적 영양 불균형, 숙성되지 않은 퇴비로부터의 악취 발생 등 다양한 이유 때문에 매우 중요한 의미를 갖는다. 유기물은 분해되어 부식물질로 변화함으로써 점차 안정화되어 간다. 그러나 폐기물의 종류에 관계없이 일관되게 퇴비의 숙성도를 판단할 수 있는 하나의 지표는 아직 알려지지 않았다. 따라서 퇴비의 숙성도는 퇴비화 초기부터 안정화 될때까지 여러 인자를 꾸준히 관찰해야 파악이 가능하며, 대체로 표 22와 같이 생물학적, 화학적, 미생물학, 물리적지표 등으로 다양하게 나눌 수 있다(정연구, 1995).

3.5.1 생물학적 지표 (Phytotoxicity)

작물시험법은 퇴비의 작물에 대한 저해현상을 바

로 평가할 수 있다는 측면에서 매우 유용하고 신뢰도 높게 숙성도를 평가할 수 있다. 하지만 2-3 주 의 시험기간이 필요하고 퇴비를 식재하지 않은 공 시체를 사용해야 한다는 번거로움이 있다. 또한 적 당한 양의 퇴비를 사용하는 경우에는 성장을 촉진 하지만 과량 사용하는 경우에는 염농도를 높여 오히려 저해현상이 관찰되기도 한다. 또한 탄소화물 이 모두 분해되지 않아 숙성되지 않고 셀룰로스 함 량이 높은 퇴비를 시비한 경우 유기물의 분해시 토 양중의 질소를 사용하여 작물에 질소부족 현상을 유발하는 것으로 밝혀졌다.

발아장에 시험은 발아율과 뿌리의 성장길이를 동 시에 고려하여 지표를 사용하면 좋다는 것이 밝혀 졌다. Zucchini et al. (1981)에 의하면 낮은 수준의 독성은 뿌리의 성장에 영향을 미치고, 높은 수준의

Table 22. 퇴비의 숙성도 지표

Classification	Detailed Indicators
1. Chemical Analysis	a. Carbon/Nitrogen ratio b. Water soluble ions (ammonium ion, nitrite) c. Water soluble organic matter d. Cation exchange capacity e. Crude fiber analysis
2. Physical Analysis	a. Temperature b. Color c. Particle size d. Water and air content
3. Microbiological Assays	a. Indicator microorganisms b. Respiration rate c. Microbial activity and biomass d. Suppression of plant pathogens
4. Plant Bioassays	a. Cress germination test in water extract b. Rye-grass growth in compost containing mixture c. Seeding development in compost and water extract
5. Spectroscopy	a. Solid state CPMAS 13C-NMR b. Infrared - FTIR, DRIFT
6. Degree of Humification	a. Total humic substances b. Content and ratios of humic and fulvic acids and non-humic fractions c. Functional groups content

독성은 발아를 저해하는 것으로 알려졌다.

### 3.5.2 화학적 지표

퇴비가 숙성됨에 따라 감소되는 양은 총 탄소양, 헤미셀룰로스, 셀룰로스, C/N 비 등이며, 증가하는 양으로서는 총질소의 양, 회분, 리그닌 등이 있다. Inoko et al. (1979)는 숙성도의 기준으로 C/N 비가 20 이하, 총 질소의 함량이 2 % 이상(건조중량 기준), 총 탄소의 양에 대한 환원당의 탄소의 비가 35 % 미만 등을 제시한 바 있다. 아울러 Harada et al. (1981)에 의하면 Inoko et al. (1979)의 기준을 만족한 후 3-4 주일 후면 토양에 살포가능하다고 밝히고 있다. 한편 Sugahara & Inoko (1981)에 의하면 퇴비화를 위하여 초기에 추가로 질소를 첨가한 경우에는 C/N 비가 퇴비의 숙성도 지표로서 적합하지 않다고 밝히고 있다. Chanyasak et al. (1983)은 증류수 추출액의 유기성 질소에 대한 탄소의 비(C/org.-N ratio of water extract)가 5 - 6의 범위에 있으면 퇴비가 숙성되었음을 의미한다고 보고하고 있다. 또한 양이온교환능력(CEC)은 대체로 퇴비화가 진행되어 부식물질이 생성되면서 증가하다가 일정한 시간이 경과하면서부터 일정 수준의 값을 유지하는 것으로 나타나 숙성도의 지표로 사용될 수 있다고 보고된 바 있다.

Suviozzi et al. (1988)은  $C_{HA}/C_{FA}$ ,  $C_{HA}+C_{FN}/Org.-C$ ,  $C_{HA}/Org.-C$  등을 퇴비의 숙성도 지표로 측정된 결과  $C_{HA}/Org.-C$ 가 C/N 비와 가장 높은 상관성을 갖기는 하지만 위의 모든 것을 숙성도의 지표의 사용할 수 있음을 보고하고 있다. 이러한 지표를 측정해본 결과 약 30 - 60일 사이에 부식화가 빠르게 진행되며 그 이후에는 서서히 진행되었다.  $C_{HA}/C_{FA}$ 는 0.4 이하,  $C_{HA}+C_{FN}/Org.-C$ 는 16 % 이상,  $C_{HA}/Org.-C$ 는 9.7 이상 되면 퇴비가 숙성되었다고 볼 수 있다고 제안하고 있다.

Jacas et al. (1987)은 목피와 도시폐기물로부터

생산된 퇴비의 양이온교환능을 각각 실험하여 150meq/100g과 80meq/100g의 수치를 얻었으며, 그 결과로부터 퇴비의 종류와 양이온교환능력간에 일정한 관계가 있을 가능성을 제시하였다. 또 다른 지표로서 질산화정도를 언급할 수 있는데 퇴비내에서 질산화가 진행되면 에너지원으로서 탄소가 부족하거나 과잉의 암모니아가 존재함을 의미하는 것으로 따라서 폐기물 내에서 질산성질소가 발생되기 시작하면 퇴비의 분해가 적절함을 의미한다.

### 3.5.3 물리적 지표

물리적 지표로 이용되는 것은 온도, 색깔, 냄새 등이 있다. 온도가 안정적으로 저온을 유지하거나 퇴비가 암갈색을 띠는 경우 안정화 되었다고 볼 수 있다. 또한 토양냄새가 나는 경우에도 퇴비가 숙성되었다고 볼 수 있으며, 다른 지표와 사용하면 매우 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다. 지금까지의 연구 결과를 종합할 때, 여러 탄소화합물의 양과 이의 변화를 관찰하는 C-NMR이 가장 정도가 높고 실제 토양에 적용되었을 때의 농작물변화를 예측할 수 있는 방법이지만 분석방법과 기기가 쉽게 적용되기가 곤란한 단점이 있다. 이외의 방법들은 부식물질의 생성을 간접적으로 나타내는 것으로 두가지 이상의 지표가 종합적으로 고려되어야 한다(Inbar et al, 1990).

## 4. 퇴비의 용도 및 이용 활성화 방안

유기성 폐기물로 제조된 퇴비는 농업용, 원예용, 산림용, 기타 황폐해진 토양의 유기물 보충용 등으로 다양하게 사용될 수 있지만 사용처를 제한하고 제품의 가격을 좌우하는 것은 퇴비의 숙성도 및 오염물질의 함량으로 판단된다. 실제로 선진외국에서 폭넓게 이루어지고 있는 유기성 폐기물의 퇴비화시설의 운전에 가장 큰 어려움은 생산되는 퇴비의 시장확보에 있다는 점은 이러한 사실을 반영하는 것

으로 시사하는 바 크다고 할 수 있다. 따라서 퇴비 사용으로 인한 역작용 즉, 농작물의 피해 또는 환경 오염 유발 등을 방지하기 위해서는 퇴비의 안전 사용 여부를 판단할 수 있는 숙성 판단 기준과 중금속을 비롯한 오염물질의 기준 등에 깊이 있는 고찰이 필요하다고 판단된다.

#### 4.1 퇴비의 이용 용도

토양개량제로서 퇴비는 수분보유능, 토양 구조, 공극율, 걸보기 밀도 등과 같은 토양의 물리적 성질을 개선할 뿐만 아니라 유기물 함량의 증가, 비료성분의 유실 억제 등을 통한 함량 증가 등의 현상이 유발되어 복합적으로 토양을 식물성장의 보다 양호한 매체로 변화시킨다. 따라서 각종 작물의 성장과 수확에 상승효과를 가져오며 토양의 생태학적, 경제적 기능의 재충전이 가능하다. 퇴비의 첨가효과는 작물의 종류와 지역에 따라 다르며, 대부분의 경우에는 퇴비를 다른 비료와 함께 혼합 사용할 때 수확율이 최고에 달하는 것으로 알려지고 있다. 또한 중중 퇴비의 사용으로 인해 토양과 작물에 있어서 납이나 붕소와 같이 우리가 우려하고 있는 미량원소의 함유량이 증가한다는 사실이 밝혀져 있으나 식용작물에 있어서 독성원소의 적정함유 수준은 잘 알려져 있지 않거나 허용치 이하의 수준으로 나타나고 있다. 퇴비의 사용처는 다음과 같이 다양하다.

##### 1) 농업적 이용

- 농작물, 목초, 야채 및 과일, 화초 등
- 주택조경 및 골프장
- 화분 혼합재

##### 2) 임업적 응용

- 산림재생, 종묘원, 수목형성, 크리스마스 트리 생산 등

##### 3) 황폐화된 토양의 개량

- 광산 토양
- 매립지 복토

#### - 도로변 조경

위와 같은 용도로 퇴비를 사용하고자 할 때는 원료의 성질, 법규, 균질성, 오염도(잡초, 병원균, 미량금속 등), 유통이용에 따른 장단점, 그밖의 제한인자 등을 충분히 고려해야 한다. 즉, 인간과 가축에 의해 섭취되는 작물에 사용하는 퇴비는 그 품질기준이 보다 엄격해야 하며, 그외 사용처에 대해서는 보다 낮은 등급의 퇴비 사용이 가능하리라 판단된다. 다양한 퇴비의 사용처에도 불구하고 가장 큰 잠재력을 보유하고 있는 부분은 농업적 적용이라 판단되므로 당면한 폐기물 처리 문제를 해결하기 위해서는 이의 활성화를 위한 폐기물 관리자 및 농업관계자의 노력이 절실히 요구된다. 아울러 퇴비의 농업적 이용 뿐만 아니라 공공분야에의 사용은 법정부차원에서 활성화되도록 노력해야만 당면한 폐기물 문제 해결에 도움이 될 수 있다고 판단된다.

#### 4.2 퇴비 이용의 활성화 방안

본절에서는 도시·산업 유기성 폐기물의 퇴비의 이용 활성화하기 위해 필요한 다양한 방법중에서 고품질 퇴비의 생산 및 이용을 위해 필요한 퇴비의 품질기준 설정 및 그에 따른 올바른 용도의 규정, 퇴비생산공정의 품질관리 방안, 그리고 오염물 농도를 저감할 수 있는 퇴비생산 방법 등의 기술적인 측면에 대해서 주로 살펴보았다.

##### 4.2.1 퇴비제품 규격의 표준화

국내의 비료관리법 제2조 규정에 따르면 비료는 보통비료와 부산물비료로 구분되며, 보통비료는 부산물 이외의 비료로서 공정규격이 정해진 비료를 말한다. 이에 따라 부산물비료는 농업, 임업, 수산업을 영위하는 과정에서 발생하는 부산물, 토양미생물제제, 토양활성제, 기타 비료성능이 있는 물질 중 농림수산부 장관이 지정하는 것을 말한다. 한편

우리나라에서 규정하고 있는 부산물 비료의 종류와 그에 따른 규격은 표 23에서 보는 바와 같다. 부산물 비료의 종류는 유기성 폐기물을 발효시켜 제조된 퇴비에서 무기물인 재에 이르기까지 12종으로 구분하고 있으며, 각 부산물비료의 규격은 유기물 함량, C/N 비, 염산불용해물, 수분함량과 유해성분으로서 비소, 카드뮴, 수은, 납에 대해 규정하고 있다. 특히 어박, 골분, 대두박 등 박류와 증제피혁분, 맥주오니 등은 보통비료중의 유기질 비료로 규정되어 구분관리하고 있는 실정이다.

생산된 퇴비의 품질기준은 대상폐기물의 종류 및 퇴비 사용용도가 서로 다르므로 생산하는 나라마다 규제치가 상이하다. 미국의 경우 대체로 퇴비의 품질기준은 비효성, 병원균, 중금속, 불순물 함량 그리고 입경 등에 따라 정하고 품질에 따른 사용용도를 제한하며 기준치도 지역별로 매우 상이한 것으로 알려지고 있다. 참고로 미국 환경청의 슬러지 퇴비의 품질기준과 그에 따른 퇴비의 사용처는 표 24와 25에 제시된 바와 같다(Robert, 1991). 또한 일본 포장퇴비의 품질기준은 표 26과 같다.

우리나라의 규제항목은 외국과 비교해 볼 때 매우 빈약함을 알 수 있다. 즉, 퇴비를 대상폐기물의

종류에 따라 구분하고 있으며, 용도를 고려하지 않은 상태에서 퇴비의 품질기준을 설정하고 있어 보다 낮은 등급의 퇴비 생산 및 활용을 억제하고 있다. 그러므로 국내에서도 퇴비의 등급별 기준의 설정과 유해성분에 대한 세밀한 기준이 퇴비의 안정적인 사용과 고품질 퇴비의 생산 및 사용량 증가를 위해서는 시급히 필요한 것으로 사료된다.

4.2.2 퇴비분석 및 품질관리 방법의 확립

모든 규제는 최종 퇴비중의 몇몇 중금속 농도의 최고치로 결정되므로 정확, 정밀한 시료 채취법, 분석법의 확립이 매우 중요하다. 또한 시험절차와 마찬가지로 퇴비생산에서도 올바른 품질보장 및 관리 프로그램이 개발, 시행되어야 한다. 예를 들면 퇴비 더미에서 단일파지(grab)시료 또는 복합시료를 채취하였을 때 이 시료의 중금속 함량이 퇴비 전체의 특성을 얼마나 정확히 나타낼 수 있는가? 이 시료의 중금속 함량이 규제치를 초과하면 퇴비더미 전체를 처분해야하는가? 또 그 퇴비에서 채취한 다른 시료의 측정치와는 얼마나 비슷한가? 퇴비생산공정의 품질관리를 위한 시료의 채취 및 분석 빈도는 어떻게 할 것인가? 등의 여러가지 의문이 제시

Table 23. 부산물 비료의 종류와 규격

종 류	유기물량 (%)	C/N 비	염산불용해물(%)	수분함량 (%)	유해성분(ppm)				비 고
					As	Cd	Hg	Pb	
퇴비	25 이상	30 이하	—	—	50	5	2	50	—
구비	25 이상	30 이하	—	—	50	5	2	50	—
부속겨	25 이상	30 이하	—	—	50	5	2	50	—
재	—	—	30 이하	30 이하	50	5	2	50	—
녹비	—	—	—	—	50	5	2	50	청초에 한함
분뇨잔사	25 이상	30 이하	—	—	50	5	2	50	기생충 없음
부엽토	—	30 이하	30 이하	—	50	5	2	50	—
아미노산발효 부산물	—	—	—	—	—	—	—	—	조미료 생산시
건 계 분	20 이상	—	30 이하	—	50	5	2	50	—
건조 축산 폐기물	25 이상	—	30 이하	—	50	5	2	50	도축과정시
부속왕겨 및 톱밥	30 이상	50 이하	—	—	50	5	2	50	—
토양미생물 및 토양활성제비료	—	—	—	—	—	—	—	—	재배실험필요

Table 24. 슬러지 퇴비의 특성에 따른 분류 기준

구 분		하	중	상
영양물질 (%)	N	0.5-1.5	1.5-3	>3
	P	0.5-1.0	1-2	>2
	K	0.02-0.15	0.15-0.3	>0.3
	Ca	0.6-1.5	1.5-3.5	>3.5
	Mg	0.1-0.25	0.25-0.4	>0.4
	S	0.5-1.0	1.0-1.5	>1.5
미량원소 (mg/kg)	Fe	1,000-8,000	8,000-15,000	> 15,000
	Mn	20-150	150-400	> 400
금속류 (mg/kg)	Pb	100-400	400-1,000	> 1,000
	Zn	100-1,200	1,200-2,000	> 2,000
	Cu	100-600	600-1,200	> 1,200
	Ni	20-100	100-200	> 200
	Cd	1-15	15-35	> 35
염 농 도 (mhos)		0-1	1-2	> 2
수분 함량 (%)		10-25	25-50	> 50
유기물함량 (%)		35-50	50-65	65-80
입 자 크 기		100 % < 1/4"	60 % < 1/4"	40 % 이상 > 1/4"

Table 25. 미국의 슬러지 퇴비의 구분

구 분	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
	일반용	작물재배용	비작물 재배	개인기관	공공기관
영양물질	중-상	중-상	중-상	하-중	하-중
금속류	하	하	중	중-상	중-상
염농도	하	하-중	하	중	중-상
수분함량	하-중	중	중	중-상	중-상
유기물함량	중-상	중-상	중-상	하-중	하-중
크기	소	소	소	중	중-대
숙성도	숙성	숙성	숙성	미숙성	미숙성
수분보유능	고	고	고	하-상	하-상

Table 26. 일본의 포장 퇴비의 품질기준

항 목	특 급	1 급	2 급
총탄소 (%)	40 - 45	40 - 45	15 - 50
총질소 (%)	1.7 이상	1.2 - 1.7	1.2 이하
C/N 비	20 - 25	30 전후	35 이하
총인산 (P2O3)	0.8 이상	0.5 - 0.8	0.5 이하
총칼륨 (K2O)	0.3 - 0.5	0.3 - 0.5	0.3 이하
총칼슘 (CaO)	5 이상	4 - 5	4 이하
총마그네슘 (MgO)	0.3 이상	0.2 - 0.3	0.2 이하
pH	7.5 - 8.0	6.0 - 7.5	6.0 - 7.0
양이온치환능력	80 이상	70 - 80	70 이하
수분	60 전후	60 전후	60 전후
어린식물 시험	생육장애 이상을 인정하지 않음.	생육장애 이상을 인정하지 않음.	생육장애 이상을 인정하지 않음.

된다. 따라서 시료의 채취에서 자료의 평가에 이르기까지 퇴비품질보장에 필요한 핵심적인 사항을 규정하고 오염물질 수준의 정확한 측정기술이 제안되어야 한다.

4.2.3 분리수거 및 퇴비화를 통한 품질 개선

도시·산업 유기성 폐기물 퇴비의 사용을 증대시키기 위해서는 이에 포함된 중금속을 비롯한 유해물질의 함량을 줄이는 노력이 퇴비의 생산량을 증가시키는 것에 못지 않게 중요하다고 판단된다. 도시폐기물의 경우 분리수거된 유기성 폐기물만을 퇴비화할 것인지 아니면 혼합폐기물을 퇴비화할 것인지에 대해 논쟁이 계속되고 있으며, 이는 각 방법마다 처리물량, 퇴비품질, 비용 측면에서 각각 장단점이 있기 때문이다. 퇴비화 대상 물질을 분리수거하는 방식이 가장 낮은 유해물질 함량을 나타내었으며, 습윤/건조 수거방식은 초점이 재활용품이나 퇴비화물질이나에 따라 결과의 변동이 컸다(표 27). 또한 중앙집중식 선별방식은 보통 정도의 오염물질 감소 효과를 가져왔는데 가급적 초기 단계에서 선별작업을 실시하는 것이 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 전통적인 접근방식으로는 기존 혹은 새로이 제안될 품질기준을 만족시키기가 매우 어려운 형편일 뿐만 아니라 소비자는 규제기준보다 더욱 엄격한 품질

을 요구하고 있으므로 도시고형폐기물 퇴비의 성공적인 상품화를 위해서는 오염물질의 효과적인 선별의 중요성이 더욱 커지리라 판단된다.

5. 결 론

1. 음식물찌꺼기는 정부의 꾸준한 감소노력으로 점차 발생량이 감소하고 재활용율도 '97년 9.6%까지 점차 증가하는 추세에 있으나 적극적인 분리수거, 재활용 체계 구축 등을 통해 보다 더 많은 부분을 재활용할 가능성이 아직까지 남아있다고 판단되었다.
2. '97년 전국 축산분뇨의 발생량은 126,339톤/일로서 '94년 발생량 112,750톤/일 보다 11.2%가 증가한 것으로 산출되었다.
3. '96년도 전체 유기성 산업폐기물의 잠재에너지 함량을 산출한 결과 연간 288만TOE가 되었으며 이는 '96년 우리나라 1차에너지 총소비량 1억6천5백만TOE(통상산업부, 1997)의 1.75%에 달하는 것으로 평가되었다.
4. 업종별 유기성 산업폐기물의 발생은 음식료품제조업, 섬유제품제조업, 펄프 종이 및 종이제품제조업, 전기 가스 및 수도사업, 의복 및 포피제품제조업, 화합물 및 화학제품제조업, 기타 공공 사

Table 27. 선별방식이 도시고형폐기물 퇴비중의 유해물질 함량에 미치는 영향 (mg/kg)

중금속	유 럽		선별효과의 유의성 (p-값)	북 미		선별효과의 유의성 (p-값)	지역별 차이 유의성 (p-값)	
	선별방식			선별방식			중앙집중	분리수거
	중앙집중	분리수거		중앙집중	분리수거			
Cd	3.9±0.4	1.2±0.2	0.0001	3.7±0.4	1.1±0.2	0.0003	ns*	ns
Cr	117±18	36±9	0.0003	29±7	15±5	0.0696	0.0001	0.0419
Cu	354±53	53±11	0.0001	349±67	64±20	0.0023	ns	ns
Hg	2.6±0.3	0.7±0.5	0.0095	1.6±0.4	1.0±0.0	0.1630	ns	ns
Ni	63±14	25±6	0.0093	31±6	8±2	0.0119	0.0458	0.0196
Pb	565±46	98±13	0.0001	324±55	74±28	0.0015	0.0043	ns
Zn	864±83	282±53	0.0001	771±141	292±131	0.0151	ns	ns

\*유의성 없음(p-값 > 0.10)

회 및 개인서비스업, 고무 및 플라스틱제품제조업의 순으로 발생량이 많았고, 이들은 전체 발생량의 70%에 달하는 것으로 나타났다.

5. 성분별로는 많은 사업장에서 폐수처리슬러지인 오니류가 가장 많이 발생되어 전체의 55%를 차지하였다. 그다음으로 폐플라스틱, 폐지, 동물성 잔재물이 전체의 각각 15%, 10%, 8%를 차지하는 것으로 분석되었다. 이중 우선적인 퇴비화 대상물질이라 할 수 있는 동물성 잔재물은 주로 농업, 수련업 및 임업, 어업, 가죽 가방 마구류 및 신발제조업, 음식료품제조업, 의복 및 모피제품 제조업 등에서 주로 발생되었다.
6. 유기성 산업폐기물의 처리는 일반폐기물 34.8%, 지정폐기물 22.1% 등 비교적 기대이상의 높은 재활용율을 보였으며, 특히 동식물성 잔재물과 폐가죽류, 폐지류는 50%이상의 높은 재활용율을 기록하였다. 반면 폐수처리 오니는 재활용율이 31%대에 그치고 상대적으로 매립처리의 비율이 높은 상태로서 오니류의 발생량이 큰 것을 감안할 때 향후 보다 더 재활용에 대한 고려가 필요한 것으로 분석되었다.
7. 전국 77개소의 하수종말처리장에서 발생하는 하수처리슬러지 역시 자원화가 가능한 유기성 폐기물로서 '96년도에 하수처리량의 0.03%에 달하는 하루 3,500톤 정도의 하수슬러지가 발생한 것으로 조사되었다.
8. 국내의 부산물비료 생산은 대부분 퇴비와 건계분을 주종으로 '96년 4월 현재 288개 생산업체에서 약 42만톤 정도를 생산하고 있으며 판매방식은 단위농협, 대리점, 농약상 등을 통하여 이루어지고 있었다.
9. 유기질 비료의 수요처 및 소비현황을 살펴보면 농업용으로의 사용이 가장 많았으며 그외 산림용이나 조경용으로의 사용은 매우 제한되어 있었다. 따라서 유기질 퇴비의 품질에 따라 보다 폭넓은 사용처의 확보가 퇴비의 품질개선 노력과 함

께 이루어져야 하리라 판단되었다.

10. 퇴비 이용의 활성화를 위해서는 퇴비제품 규격의 표준화, 퇴비분석 및 품질관리 방법의 확립, 분리수거 및 퇴비화를 통한 품질 개선 등이 필요하며, 특히 도시·산업 유기성 폐기물 퇴비의 사용을 증대시키기 위해서는 확실한 부숙퇴비의 생산과 함께 이에 포함된 중금속을 비롯한 유해물질의 함량을 줄이는 노력이 퇴비의 생산량을 증가시키는 것에 못지 않게 중요할 것이라 사료되었다.

### 참 고 문 헌

- 농림수산부(1997), 농림업 주요통계 (농산부산물 수출입 현황).
- 농림수산부(1997), 농림업 주요통계 (축산현황).
- 신항식(1992), "유기성 폐기물 자원화 기술의 동향", 제7차 환경공학분야 산학협동공개강좌 : 유기성 폐기물의 자원화기술, 한국과학기술원, pp 3-57.
- 신항식(1996), "축산폐기물 퇴비화의 현황 활성화 방안", 월간폐기물, 1월호, pp74-80.
- 신항식, 황응주, 김구용(1997), "소멸식 퇴비화 장치의 운전성능 평가", 한국유기성폐기물학회 가을학술대회 발표논문집, pp11-19.
- 양창옥(1993), "축산폐기물 퇴비화 시설 운영실태", 한국유기성폐기물자원화협의회학회지, 제1권, 제2호, pp187-198.
- 이영우, 김영성, 선도원, 박영옥, 구철오, 임정환, 손재익(1993), "영남권지역 주요 에너지회수대상 산업폐기물의 발생 및 특성분석", 한국폐기물학회지, 제10권, 제3호, pp345-355.
- 이영우, 손재익(1994), "주요 에너지회수 대상 산업 폐기물의 처리현황 분석", 에너지 R&D, 제16권, 제1호, pp89-98.
- 정연구(1995), "셀룰로스 분해증진에 의한 효율적인

- 폐기물 퇴비화”, 한국과학기술원 박사학위논문.  
 통상산업부(1997), 에너지통계연보.  
 한국과학기술원(1980), 전국 축산분뇨 적정관리대책 연구.  
 한국에너지기술연구소(1991), KE-91016G, 산업 폐기물 자원조사 및 특성분석(III).  
 한국에너지기술연구소(1991), KE-91031G, 바이오매스 자원조사 및 에너지 평가분석(III).  
 환경부(1997), '96 전국 폐기물 통계조사.  
 환경부(1998), 음식물쓰레기 줄이기 실무자료집.  
 환경부 상하수도국(1997), '96 하수종말처리시설 운영결과 검토.  
 황용주(1998), “소규모 음식물찌꺼기 퇴비화기의 성능평가 및 효율개선”, 한국과학기술원 박사학위논문.  
 Chanyasak, V., Katayama, A., Hirai, M.F., Mori, S., and Kubota, H.(1983), “Effects of Compost Maturity on Growth of Komatsuna (*Brassica Rapa* var. *peridis*) in Neubauers pot II: Growth Inhibitory Factors and Assessment of Degree of Maturity by Org.-C/Org.-N of Water Extract”, *Soil Sci. Plant Nutr.*, Vol. 29, No. 3, pp251-259.  
 Harada, Y., Inoko, A., Tadaki, M., and Izawa, T.(1981), “Maturing Process of City Refuse Composting during Piling”, *Soil Sci. Plant Nutr.*, Vol. 27, No. 3, pp357-364.  
 Inbar, Y., Chen, Y., Hada, Y.(1990), “New Approaches to Compost Maturity”, *Biocycle*, 12.  
 Inoko, A., Miyamatsu, K., Sugahara, K., and Harada, Y.(1989), “On Some Organic Constituents of City Refuse Composts Produced in Japan”, *Soil Sci. Plant Nutr.*, Vol. 25, No. 2, pp225-234.  
 Jacas, J., Marza, J., Florensa, P., and Soliva, M.(1987), “Cation Exchange Capacity Variation during the Composting of Different Materials”, In *compost: Production Quality, and Use*, de Bertoldi, M., Ferranti, M.P., et al. (ed). London: Elsevier Applied Science, pp309-320.  
 Robert A. Greene.(1991), “Solid Waste Management in the U.S. Establishing a New Infrastructure”, *The 5th International Symposium on Solid Waste Management Technology*, pp17-32.  
 Sugahara, K. and Inoko, A.(1981), “Composition Analysis of Humus and Characterization of Humic Acid Obtained from City Refuse Compost”, *Soil Sci. Plant Nutr.*, Vol. 27, No. 2, pp213-224.  
 Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., and de Bertoldi, M.(1981), “Evaluating Toxicity of Immature Compost”, *Biocycle*, 3/4, pp54-57.