



ORIGINAL PAPER

원저

## 음식물쓰레기 퇴비화시설의 설치 및 운영 현황분석 및 개선방안

류지영\*, 공규식, 신대운\*, 배재근

서울산업대학교 환경공학과, 조선대학교 대학원 환경생물공학과\*

(2004년 6월 8일 접수, 2004년 9월 17일 채택)

### Analysis and Improvement Measures on the Status of the Installation and Operation of Facilities for Recycling Food Waste into Compost

Ji-Young Ryu\*, Kyu-Sik Kong, Dae-Yewn Shin\*, Chae-Gun Phae

Dept. of Environmental Engineering, Seoul National University of Technology / Dept. of Life Environmental Engineering, Graduate School Chosun university\*

#### ABSTRACT

This research sought to determine the status of the installation and operation of composting facilities of domestic public resource-making facilities and come up with corresponding improvement measures. The composting facilities were the most extensively installed of related facilities with over a 0.5 ton treated volume per day. The monthly and yearly carry-in volume of food waste were found to stand at 1,101.7 tons per day and 930.9 tons per day, thus falling short of the average planned volume of 1,270.9 tons. Many composting facilities, which were installed in areas for which factory registration were not approved, did not get approvals. Composting facilities underwent operation stoppage mainly due to faulty fermentation and crushing equipment. Mainly metals contained in food waste caused faults to the crushing equipment, thus requiring a facility designing against faults and corrosion.

The initial water content was found to stand at 50–60%, thus complying with the requirement. However, since the composting food waste had an appropriate mixture of sawdust, food waste, and returned compost, it should meet the initial conditions. For fermentation facilities, the duration time for fermentation was 15 days, and post-fermentation tanks required 21 days of duration time, thus establishing the minimum criteria. However, some facilities did not meet the requirements, taking more time in decomposition, thus suggesting a need to determine the duration time according to facilities.

In composting food waste, microorganism-based thermal oxidizer-operated fermentation tanks should be used to ensure an economic operation. On the contrary, 14 out of 25 survey targets heated fermentation tanks in any form. These thermal facilities contain the growth of bacteria, lowering chemical reaction in composting; thus composting facilities should be basically designed

to use microorganism-based thermal oxidizers in drying water. An average daily volume of food waste and supplementary materials that was injected in producing compost was 22.8 tons. This volume produced 7.3 tons of compost per day, decreasing 68%. Properties of produced compost were analyzed by its color, absence or presence of remaining decomposition heat, and smell, to assess the quality. As a result, the composting process was not properly installed nor operated in about 50% of composting facilities. Compost should be produced to be soil-friendly.

Keyword : food waste, composting facilities, maturity, fermentation

## 초 록

본 연구는 우리나라에 설치된 공공자원화시설 중에서 일처리용량이 0.5톤 이상인 자원화시설 중 가장 많은 분포를 보이는 퇴비화시설을 중심으로 설치 및 운영상황에 대하여 정밀진단하고 개선방안을 도출하기 위하여 수행되었다. 음식물쓰레기의 반입량을 월평균 및 년 평균값으로 조사한 결과, 월 평균값이 1,101.7톤/일, 년평균값이 930.9톤/일로서 평균계획용량 1,270.9톤/일에 상당량 미달되는 것으로 나타났다. 퇴비화시설의 입지조건도 공장등록이 불가능한 지역에 위치하여 허가를 득하지 못한 경우가 많았다. 퇴비화시설의 가동정지되는 주된 고장원인 기기는 발효시설과 파쇄시설로 나타났으며, 금속류 이물질유입은 파쇄시설의 고장이 주된 원인으로서 고장 및 부식에 대비한 설계가 요구된다. 초기함수율은 50~60%의 수분함량을 지키고 있는 것을 확인 되었으나, 톱밥, 음식물쓰레기, 반송퇴비가 적절하게 혼합되어 초기조건을 만족시킬 필요성이 있는 것으로 조사되었다. 발효시설의 체류시간은 부숙시설 15일, 후부숙조는 21일로서 최소기준이 설정되어 있으나, 일부 시설이 조건을 만족시키지 못하고 있는 것으로부터 시설의 종류에 따라서는 분해에 더 많은 시간이 소요됨으로 시설의 특징을 초기에 잘 파악하여 체류시간을 결정할 필요성이 있다.

퇴비화에 있어서 미생물 산화열에 의하여 발효조가 운영되어 경제성이 확보되어야 하나, 조사에 응한 25개소 중에서 14개소가 발효조에 어떠한 형태이던지 가온을 하고 있는 것으로 조사되었다. 이들 가온 시설은 역으로 미생물의 성장을 억제하여 퇴비화반응을 저해될 수 있는 것으로부터, 퇴비화에 있어서 미생물산화열을 이용하여 가능한 수분을 증발시키는 것을 기본으로 설계되어야 한다. 퇴비의 생산량을 발효조에 투입되는 음식물쓰레기와 부재료의 1일 평균 투입량이 22.8톤이었으며 퇴비로 생산된 량은 7.3톤/일로서 감량율이 68%를 보였다. 생산된 퇴비의 성상을 색상, 분해열의 잔류여부, 냄새 등으로 양질의 여부를 판단한 결과, 퇴비화 시설의 50% 정도는 퇴비화공정이 적정 설치, 운영이 되지 못했다는 것이 밝혀졌다. 생산된 퇴비가 토양에 건전한 형태로 제조되어야 할 것이다.

주제어: 음식물쓰레기, 퇴비화시설, 부숙도, 발효

## 1. 서론

음식물쓰레기의 관리는 발생원에서 배출억제 및 각종 감량화 방법을 통하여 량을 최소화 시킨 후에 최종적으로 발생되는 음식물쓰레기를 분리수거하여 효율적이면서도 안정적으로 경제성이 확보되는

체계로의 자원화 대책수립이 필요하다. 특히 우리나라는 2005년도부터 매립지의 2차오염방지라는 전제에서 음식물쓰레기 직매립금지안이 설정되어 있어 자원화를 하지 않으면 안 되는 실정에 있다. “자원화” 라는 개념 하에서 1996년도부터 지방자치단체별로 음식물 자원화사업이 실시되면서 지

자체에서 부분적으로 수거 가능한 량을 분리수거하여 자원화시설을 설치하게 되었다. 초기에는 사료화 및 퇴비화 방법을 위주로 실시되었으나, 최근에는 혐기성소화, 하수병합, 지렁이 사육, 버섯재배, 탄화 등 다양한 방법으로 확대되고 있다.<sup>1)</sup>

지금까지 설치되어진 자원화설비는 대부분 설계기준 및 공정기준이 확립되지 않아 문제가 발생한 것이며, 또한 지금까지 전처리기술 및 분처리기술에 안정성이 확보되지 않아 시행착오를 겪어야 했다. 또한 음식물쓰레기 자원화시설은 대부분이 플랜트설비로서 기계장비를 위주로 설치되고, 일부 토목 및 건축, 전기 등의 계장으로 이루어지는 것과 기계의 노후화, 내구연한이 정해져 있는 것으로부터 정기적으로 소수선, 대수선이 이루어져야 하나, 운영단계에서 정비가 잘 이루어지지 않아 시설의 가동율이 저하되는 현상을 보여주었다.<sup>2)</sup>

음식물쓰레기 퇴비화공정은 원료를 투입하는 시

설, 이물질을 유입을 막기 위한 선별시설, 적절한 퇴비화를 돕기 위한 파쇄시설, 최적의 발효조건인 수분함량을 조절하기 위한 탈수/ 혼합시설, 퇴비화를 진행하는 발효조, 발효조를 거친 퇴비물질의 안정화를 위한 후부숙시설, 최종제품으로 나가기 전에 최종 선별하는 시설로 나누어진다. 이러한 단위공정은 퇴비화반응을 극대화하기 위한 조건으로 설계되어야 하며, 호기성미생물을 활성화하는 방법으로 운영이 되어야 한다.<sup>3)</sup>

음식물 퇴비화시설의 합리적인 공정설계 및 효율적인 운영을 위해서는 현재 설치되어 있는 음식물쓰레기 퇴비화공정의 설치 및 운영에 대하여 정밀진단을 통하여 실태를 파악하는 것이 중요하다. 본 연구는 우리나라에 설치된 음식물쓰레기 퇴비화시설 중에서 일처리용량이 0.5톤 이상인 퇴비화시설 40개에 대하여 설치 및 운영상황에 대하여 정밀진단하고 개선방안을 도출하기 위하여 수행되었다.

[Table 1] Survey Factors Established to Analyze Composting Process<sup>4)</sup>

분석내용	조사항목
일반사항	퇴비화방법(에스컬레이터식, 로터리교반식, 컨테이너박스식, 수직밀폐탱크형, 원형오가식, 회전원통형, 기타)
	1일 평균 음식물쓰레기 및 부재료의 투입량(음식물쓰레기, 통기개량제, 혼합 후의 성상)
	최종 생산 퇴비(성상, 평균 생산량)
법적 요건 및 각종 인허가사항의 점검	비료 생산업 등록
	폐기물관리법의 중간처리업, 재활용신고여부
처리공정에 관한 사항	음식물 쓰레기 자원화지침서에 따른 시설기준의 준수여부
	설치공정
	퇴비화시설의 주공정의 고장빈도 및 원인
주된 처리공정에 대한 점검	혼합시설
	발효조(1차발효조: 1차발효조의 뒤집기 장치의 종류, 내용물의 단계적)이동 여부, 발효조내에서 체류시간 검토, 발효조내에 외부가온의 유무, 발효조 내부의 온도유지, 발효조 내부의 냄새종류, 1차발효생성물, 공기공급여부 및 공기량)
	후숙조(2차발효조: 후숙조의 뒤집기여부 및 원리, 내용물의 단계적 이동 여부, 후숙조의 체류시간 검토, 후숙실에 공기 공급여부, 후숙조 내부의 온도유지, 후숙조 내부의 냄새, 후숙생성물)
최종적으로 생산된 퇴비의 성상 및 사용용도	퇴비의 생산량
	생산된 퇴비의 성상
	사용용도(가급적 정밀한 조사가 필요, 근거를 확인)
퇴비 사용에 있어서 문제점 및 개선방향	실제 사용된 곳을 대상

## 2. 자원화시설의 현장 점검 방법 및 결과의 분석

### 2.1 현장점검 방법

본 연구에서는 점검대상 음식물쓰레기 자원화시설을 0.5톤/일인 공정으로 국한하였으며, 우리나라에서 지금까지 공공기관에서 설치되어진 81개의 자원화시설중에서 72개(6개소는 기폐쇄, 3개소는 미제출)에 대하여 점검을 수행하여 퇴비화시설부분만을 분석하였다.

점검기간은 2003년도 7월 21일부터 8월 9일까지였으며, 전국단위로 일정한 점검표로 전문가에 의하여 이루어졌다.

### 2.2 분석방법

음식물 쓰레기의 퇴비화공정은 호기성 조건하에서 미생물에 의하여 유기물을 분해시켜 안정화하는 공법으로서 퇴비화에 적합한 반응조건의 준수여부가 생성퇴비의 질을 좌우하는 것으로부터 공정설계의 타당성과 생성된 퇴비의 질에 대하여 점

검하는 것이 필요하다. 본 조사분석에서는 [Table 1]과 같은 항목을 설정하여 조사분석하였다.

현장에서 조사되어진 각 항목에 대하여 분류 가능한 모든 항목에 대하여 분류하여 집계하였으며, 분석항목을 정량적인 것과 정성적인 것을 구분하여 엑셀에 의하여 데이터 처리하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 퇴비화시설의 계획처리용량 및 실제처리용량

현재 환경부 통계에 잡혀있는 퇴비화시설중에서 조사되어진 시설은 41개소로서, 실제 경기도 O시의 경우에는 가동이 되고 있지 않은 것으로부터 조사대상은 40개 시설이었다. 현재 가동되고 있는 40개 시설에 대하여 시도별의 계획처리용량과 실제 처리용량을 [Table 2]에 나타냈다.

본 표에서 알 수 있는 것과 같이 퇴비화시설로서 설치되어진 계획용량은 최소 887.7톤/일, 평균 1,270.9톤/일, 최대 2,016.9 톤/일로 조사되었다.

[Table2] Actual Carry-in Capacity vs. Planned Capacity of Composting Facilities

자원화시설 설치 시도명	시설의 계획 처리용량(톤/일)			음식물쓰레기의 반입 및 처리량			
	최소	평균	최대	일반입량		월평균 반입량 (톤/일)	연평균 반입량 (톤/일)
				평일 (톤/일)	월요일 (톤/일)		
서울특별시	75.5	88.3	134.0	100.5	144.3	81.1	84.5
부산광역시	35.0	59.5	102.0	44.0	90.0	43.0	25.9
인천광역시	72.0	98.0	136.0	65.0	93.0	56.7	55.9
대전광역시	24.0	24.0	24.0	26.0	34.0	20.8	20.5
경기도	377.0	590.0	949.0	588.0	935.0	547.9	403.6
강원도	1.3	1.3	2.5	1.2	4.5	1.1	1.1
충청북도	7.0	10.0	17.0	10.4	12.4	9.5	9.4
충청남도	31.1	40.3	58.6	44.3	84.3	34.4	33.9
전라북도	105.2	118.8	218.3	139.7	170.1	99.8	96.2
전라남도	3.0	3.0	13.0	2.1	3.3	1.8	1.8
경상북도	13.0	25.0	37.0	18.0	27.0	33.2	32.7
경상남도	108.5	159.3	254.5	150.9	253.7	123.0	119.9
제주도	35.2	53.5	71.0	55.7	38.2	49.5	45.5
계	887.7	1,270.9	2,016.9	1,245.9	1,889.8	1,101.7	930.9

이러한 시설용량에 대하여 평일에는 1245.9톤/일이 반입되며, 월요일에는 1,889.8톤이 유입되어 평균반입 계획량에는 어느 정도 일치하는 경향을 보였으며, 최대용량에 대해서는 반입량이 적은 것으로부터 일부 시설에서는 과대용량으로 설계되어 있음을 알 수 있다. 또한 휴일이 겹친 다음날, 즉 월요일에 반입되는 량이 평일에 비교하여 어느정도 반입되는 지를 조사한 결과, 평일 평균 반입량에 대하여 34.07%가 더 많이 유입되는 것을 알 수 있었다.

이러한 반입량을 월평균 및 년 평균값으로 조사한 결과, 월 평균값이 1,101.7톤/일, 년평균값이 930.9톤/일로 평균계획용량 1,270.9톤/일에 상당량 미달되는 것으로 나타났다. 실제 음식물쓰레기의 발생량이 여름, 가을에 많고, 봄, 겨울에 적은 것으로 계절별 편차를 극복하기 위하여 설계를 하여야 하나, 상기의 평일 값 및 월요일의 최대반입량 조차도 계획량 대비 낮은 것으로부터 실제 발생량을 정확히 조사하고, 처리용량을 결정해야 할 것으로 판단되었다.

### 3.2 퇴비화방법<sup>5)</sup>

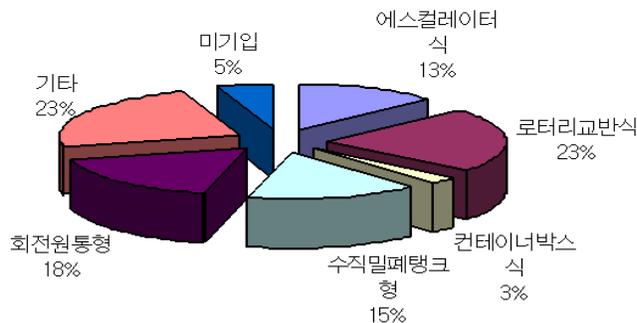
퇴비화방법은 여러 가지 분류방법이 있으나, 일반적으로 1차발효시설의 교반시스템에 의하여 분류한다. 국내에 축분 등의 퇴비화에는 에스컬레이터식이 가장 많이 사용되고 있다. 음식물쓰레기의 퇴비화에 사용되는 방법은 로터리교반식>회전원통식>수직밀폐탱크식>에스컬레이터식>컨테이너박스식이었으며, 이러한 시설로 구분할 수 없는 다

양한 방법이 9개로 조사되었다. 자원화시설 조사 대상 중 퇴비화시설 40개에 대한 퇴비화방법을 [Fig. 1]에 나타냈다.

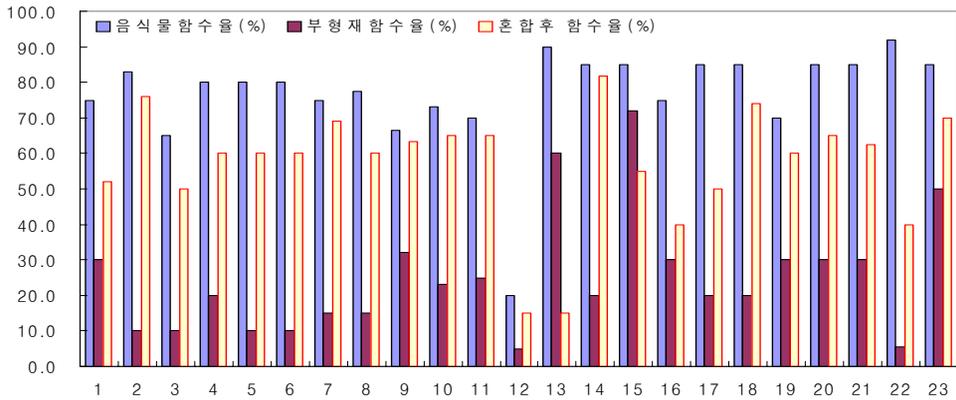
### 3.3 1일 평균 음식물쓰레기 및 부재료의 투입량

조사항목에 기록한 시설의 퇴비화공정에 투입되는 1일 평균 음식물쓰레기 및 부재료의 투입량(전처리 후에 주공정으로 투입되는 량)은 16.2톤과 3.3톤으로 5:1에 비율로 혼합되는 것으로 나타났다. 부재료로는 대부분 톱밥을 사용하였으며, EM 발효제를 같이 사용한 시설도 2곳이 있었다. 퇴비화공정에서 가장 중요한 함수율의 조절을 위해 톱밥이 주로 사용되었다고 할 수 있다.<sup>6)</sup>

[Fig. 2]에는 부형재를 혼합 전 음식물쓰레기의 수분함량, 부형재의 수분함량 및 음식물쓰레기와 부형재를 혼합 후의 수분함량을 나타냈다. 혼합 후의 평균 수분함량은 54.3%로 몇몇 곳을 제외하고는 퇴비화에 적합한 수분함량을 보였다. 1일 평균 투입되는 음식물쓰레기의 수분함량은 80%이상 가장 많았으며, 제주도 S시 퇴비화시설에는 수분함량이 가장 높은 92%의 음식물쓰레기가 유입되었다. 경기도 Y군의 퇴비화시설에 반입되는 음식물쓰레기의 수분함량은 20%로 일반적으로 있을 수 없는 것으로 잘못된 자료의 수집으로 판단된다. 부재료로 주로 사용되는 톱밥의 평균 수분함량은 30%로서 일반적인 톱밥의 평균 수분함량보다 약간 높게 나타났다. 몇몇 지자체에서 오기로 추정되는 60~70%의 높은 수분함량과 5%의 낮은 수분



[Fig. 1] Overturning methods in composting.



[Fig.2] Water content of average daily food waste injected(%).

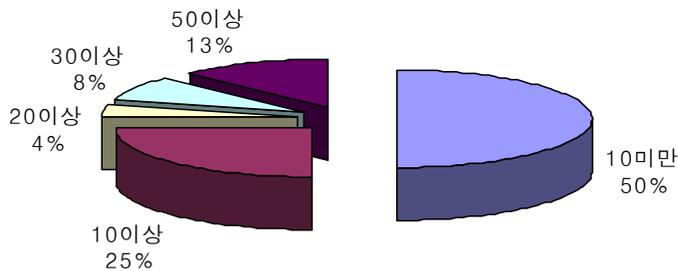
함량의 기록도 있었다.

### 3.4 처리공정에 관한 일반사항

음식물쓰레기 자원화 지침서에 따른 시설기준은 투입시설, 1차 선별시설, 파쇄시설, 탈수/혼합시설, 발효시설, 후부숙시설, 2차 선별시설을 모두 갖추도록 되어있다. 그러나 이물질이 적을 경우에는 전처리 과정에서 선별하지 않고 발효공정 이후 선별하는 경우도 허용하므로 반영되는 음식물쓰레기의 성상에 맞게 시설을 설치하여도 된다. 다만, 비료관리법에서 규정하는 방법 및 기준에 적합하여야 한다. 조사항목에 기록한 시설 중에서 시설기준을 준수한 시설은 21곳이고, 준수하지 않은 시설은 6

곳이었다.

이물질의 유입, 기계의 노후 등의 고장에 의하여 퇴비화시설의 가동이 정지되는 경우가 있다. 주된 고장원인 기기는 발효시설과 파쇄시설로 나타났다. 금속류 이물질유입은 파쇄시설의 고장이 주된 원인이 되며, 음식물쓰레기 자체 내에 함유된 염분에 의한 부식도 시설의 노후와 고장을 일으키는 것으로 사료된다. 시설의 고장에 의한 가동정지가 50일이 넘는 시설이 3곳으로 나타났다. 적절한 시설관리를 위해서는 전문인력의 배치와 초기 설계부터 심려를 기울여 시설을 설치할 필요가 있다. 고장에 의한 가동정지일은 [Fig. 3]에 나타났다.



[Fig.3] Operation stoppage duration due to faults(day/year).

### 3.5 1차발효조(부숙조)의 설치 및 운영

#### 3.5.1 1차발효조(부숙조) 내에서 체류시간 검토

[Fig. 4]에는 발효조의 용적, 1일 투입되는 음식물쓰레기와 부형재의 혼합량 및 체류시간을 나타냈다. 발효조의 크기는 D시의 퇴비화시설과 경기도 S시의 퇴비화시설의 경우처럼 용적이 1000 m<sup>3</sup>이 넘는 곳이 있는 반면 경기도 Y군의 퇴비화시설과 같이 용적이 10m<sup>3</sup>이 되지 않는 곳이 있는 등 각 지자체별로 매우 다양하다.

대체적으로 음식물쓰레기의 투입량은 시설규모에 비례하나 P군의 퇴비화시설처럼 발효조의 크기에 비해서 투입되는 음식물쓰레기의 양이 적은 곳도 있다. 반입되는 음식물쓰레기의 양에 비해 시설 규모가 작아서 생기는 과부하나 시설규모가 너무 커서 생기는 예산의 낭비는 자원화시설의 설치를 위한 타당성조사가 얼마나 중요한지 시사하는 바가 크다. 체류시간 15일은 최소기준인 것으로부터 대상이 되는 음식물쓰레기의 분해정도, 1차발효 시설의 종류에 따라서는 분해에 더 많은 시간이 소요됨으로 시설의 특징을 초기에 잘 파악하여 체류시간을 결정할 필요성이 있다.

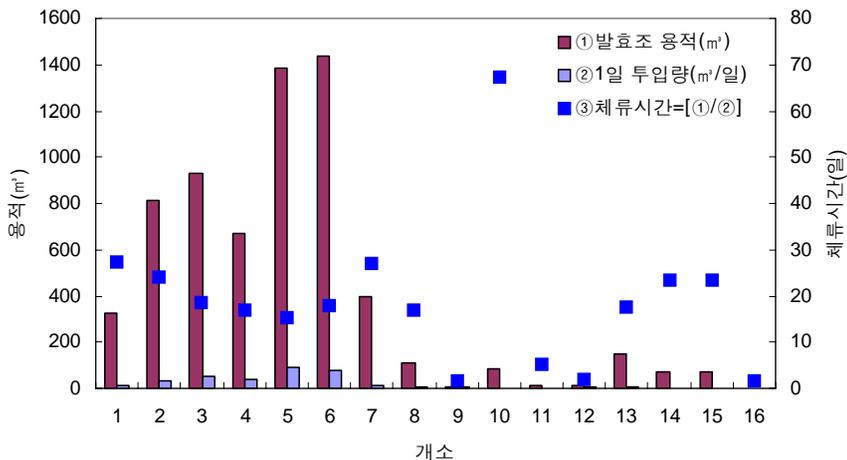
조사항목에 기록한 시설 중 19%가 최소한의 체

류시간을 유지하지 못하였으며, 70일 이상의 체류시간으로 필요이상의 발효를 하는 시설도 2곳이 있었다. 체류시간이 5일 이내로 전혀 지키지 못하는 시설도 4곳이었다. 시설 4곳 모두 발효조의 용적이 10m<sup>3</sup>미만의 너무 적은 용량으로 설계하여 반입되는 음식물쓰레기를 적절하게 처리하지 못하고 배출하는 것으로 나타났다. 발효조의 용량을 증설하는 방안을 강구하거나 처리 용량 이상의 원료반입을 막아야 할 것이다.<sup>7)</sup>

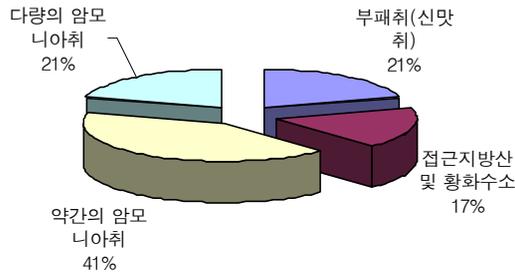
#### 3.5.2 발효조 내부의 온도와 냄새

퇴비화를 통한 주된 감량요인은 발열반응에 의한 수분 증발과 유기물의 변환이며, 적절한 퇴비화를 위해서 적절한 온도유지는 매우 중요하다. 대부분의 시설에서 외부에서 가온 없이 순수하게 미생물의 산화열을 이용하고 있다. 남부지역의 몇몇 시설에서는 발효조에 유입되는 공기를 가온하여 공급하거나 반응기 외부에 자켓을 두어 가온하기도 하였다. 3일 동안의 50°C 준수여부로 발효조 내에서 적정하게 퇴비화가 진행되는지를 알 수 있는데, 1곳을 제외하고는 이를 잘 준수하는 것으로 나타났다.

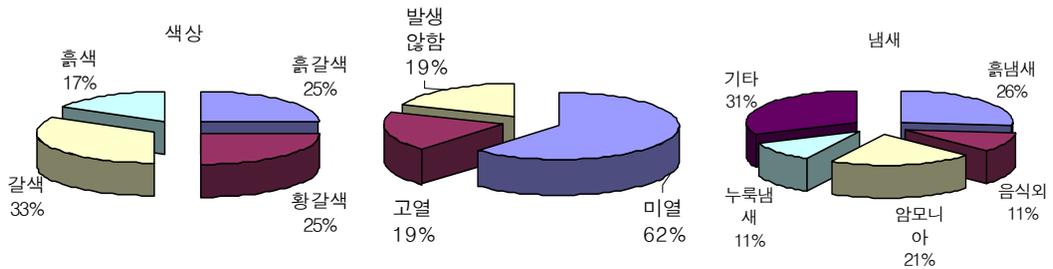
발효조 내부의 냄새를 통해서도 퇴비화의 진행이 적정한가를 알 수 있으며 발효가 왕성할 시에는 암모니아 냄새가 발생한다. 62%의 시설에서는 암모



[Fig. 4] Contents duration in the fermentation tank(day).



[Fig.5] Odors inside the fermentation tank.



[Fig.6] Colors, heat, and odors of initially-fermented output.

니아 냄새가 감지되었으나 나머지 38%의 시설에서 그러하지 못했다[Fig. 5].

### 3.5.3 1차 발효생성물

분해성유기물의 분해와 안정화 및 수분의 제거가 되어진 발효생성물의 판별은 색상과 냄새, 열발생여부로 판별할 수 있다. 퇴비화 공정이 적절하였다면 흙갈색에 가까운 색상을 띠며, 흙냄새가 나며, 열은 거의 발생하지 않는다. 조사항목에 기록한 시설의 1차 발효생성물의 색상, 냄새, 열발생여부는 [Fig. 6]에 나타냈다. 발효생성물의 색상은 대부분 안정화가 잘 진행됨을 나타냈다. 고열발생이 19%, 미열발생이 62%로 나타나 발효가 완전히 끝나지 않았음을 알 수 있다. 이들은 후숙조로 이동시켜 2차 발효를 하여야할 것이다. 흙냄새는 26%에 불과한 것으로 나타나 대부분의 시설에서 후숙조가 반드시 필요함을 알 수 있다. 11%에서

음식물쓰레기 자체의 냄새가 감지되는 것으로부터 발효가 원만하게 이루어지지 않는 퇴비화공정 자체에 문제를 안고 있는 시설임을 알 수 있다.

### 3.5.4 공기공급 및 발효조의 가온여부

조사항목에 기록한 34개의 시설 중 공기를 공급하는 시설은 14곳에 불과하였다. 공기공급방법은 강제압입식을 채택한 시설이 14곳으로 전부를 차지했다. 강제압입식이 보다 경제적이며 운영관리가 수월하기 때문에 사료된다[Table 3].

[Table 4]는 1차발효조의 가온 여부에 대하여 조사한 결과이다. 미생물의 산화열에 의하여 발효조가 운영되어 경제성이 확보되어야 하나, 조사에 응한 25개소 중에서 14개소가 발효조에 어떠한 형태이던지 가온을 하고 있는 것으로 조사되었다. 열풍에 의한 가온과 반응기의 외부에 자켓을 두어 가온하는 것으로 구분할 수 있으며, 열풍을 100℃이

[Table3] Air Supply and Amount of a Fermentation Tank

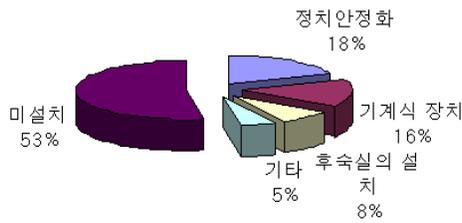
구분	공기공급량(m <sup>3</sup> /단위 용기부피당 m <sup>3</sup> )					공기공급방법		해당없음	
	5이하	5이상	10이상	20이상	30이상	50이상	흡입식		강제압입식
서울특별시		1				1			1
부산광역시									4
대구광역시									
인천광역시			1					1	
대전광역시							1		
울산광역시									
경기도	2					1	1	2	4
강원도		1							
충청북도			1					1	1
충청남도				1				4	
전라북도			1					1	1
전라남도									2
경상북도		1							1
경상남도									6
제주도								3	
계	2	3	3	1	0	2	2	12	20

[Table4] Heating of a Fermentation Tank

구분	발효조에 유입되는 공기 가온 공기공급(°C)				반응기의 외부에 자켓 가온(°C)				외부에서 가온없이 미생물산화열 이용
	50미만	50이상	100이상	150이상	50미만	50이상	100이상	150이상	
서울특별시									2
부산광역시									1
대구광역시									
인천광역시									1
대전광역시									1
울산광역시									
경기도									3
강원도									1
충청북도				1	1			1	
충청남도		2							1
전라북도		1	1						
전라남도									
경상북도	1								
경상남도		1				1			
제주도	1	2				1			
계	2	6	1	1	1	2		1	11

상으로 가온하고 있는 곳도 있는 실정이다. 퇴비화에 있어서 미생물산화열을 이용하여 가능한 수분

을 증발시키는 것을 기본으로 설계되어야 하나, 이들 가온 시설은 역으로 미생물의 성장을 억제하여



[Fig. 7] Overturning and principles in a post-fermentation tank.

퇴비화반응이 저해될 수 있다.

### 3.6 2차 발효조(후부숙시설)의 설치 및 운영

#### 3.6.1 후숙조의 뒤집기 여부 및 원리

2차 발효과정은 단순하게 저장과 같은 조작으로 해도 좋으나, 일반적으로는 하부에서 공기를 공급해 주는 경우가 많다. 후숙조의 뒤집기 여부는 [Fig. 7]에 나타냈다. 미설치가 52%로 가장 많으며, 기계식 장치에 의한 뒤집기를 하는 곳은 16%에 불과한 것으로부터 후숙조를 설치하였어도 뒤집기를 하지 않아서 양질의 퇴비를 기대할 수 없는 실정임을 알 수 있다.

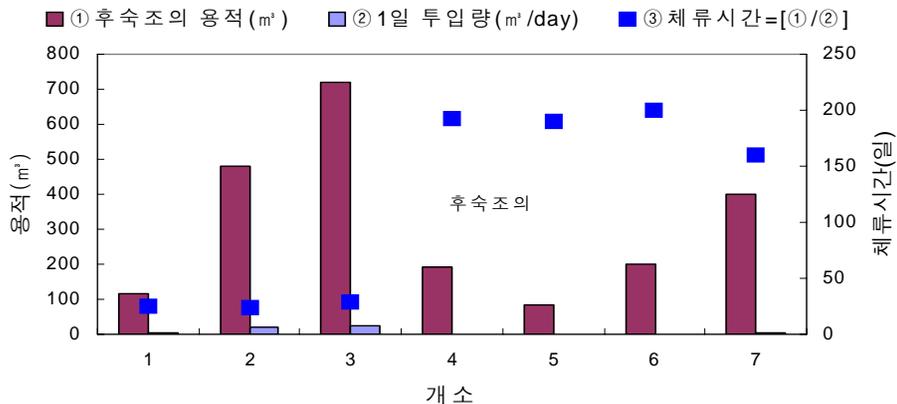
#### 3.6.2 후숙조의 체류시간

현재는 환경부의 지침에서 반드시 후숙조를 설치

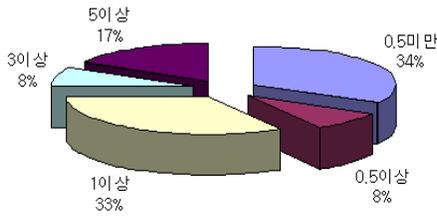
하도록 하고 있으며, 체류시간 21일로 설정하였다. 체류시간 21일은 최소의 기준으로, 가능하다면 오랫동안 저장하면서 후숙하는 시설을 설치하여야 한다. 특히 후숙조내에 공기를 공급하지 않거나, 뒤집기를 하지 않는 경우에는 오랜시간의 체류시간을 요구하게 된다. 뒤집기를 하지 않고, 공기공급시설을 따로 설치하지 않는다면 후숙조의 크기를 크게 하여 충분한 체류시간을 확보해야 할 것이다.

[Fig. 8]에 후숙조의 용적, 1일 투입되는 발효조생성물 및 후숙조의 체류시간을 나타냈다. 후숙조를 설치 운영하는 대부분의 시설은 21일 이상의 체류시간을 갖는 것으로 나타났으나, 시설 3곳이 21일에 근접하여 설계하였으며, 150일 이상의 체류시간을 갖는 4곳은 대체적으로 시설규모가 작은 것으로 나타났다. 이는 1일 발효조생성물의 반입량이 적어서 긴 체류시간을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 것들로부터 후숙조는 가능한 유기물이 완전하게 안정화하는 기간을 설정하여 설계되어야 한다. 또한 후숙의 개념과 같이 볼 수 있는 것이 저장이므로 가능한 많은 양을 오랜기간동안 저장이 가능한 저장조를 확보해 두는 것이 필요하다. 이러한 저장조의 퇴비의 수급을 조절하는 용도로서도 유용하게 사용될 수 있다.

#### 3.6.3 후숙 생성물



[Fig.8] Duration in a post-fermentation tank(day).



[Fig.9] Foreign substance content(%)

퇴비를 농가에서 이용할 시에 분해가 잘 되어 2차피해가 없어야 하나, 선결되어야 할 문제가 퇴비에 포함되어진 이물질이다. 이러한 이물질은 음식물쓰레기 퇴비에 대한 이미지를 나쁘게 할 수 있다. 이물질의 함유정도를 조사하여 [Fig. 9]에 나타냈다. 대부분의 시설에서 0.5%이하로 이물질이 포함되어 있었으나, 전체시설 중에 5%이상의 이물질을 함유한 곳도 2곳이나 있는 것으로부터 2차 선별시설이 반드시 설치되어야 한다. 이물질은 대부분 비닐류, 종이류, 뼈류 등으로 구성되어 있었다.<sup>8)</sup>

최종 퇴비로 반출될 후속 생성물의 색상, 냄새 및

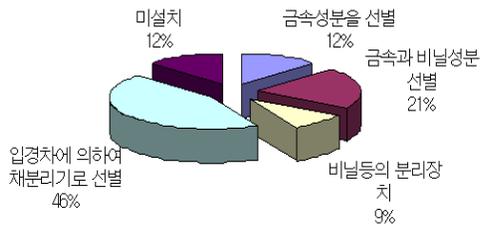
열발생여부는 [Table 5]에 나타났다. 후속 생성물의 색상 중에는 흙색이 가장 많았다. 조사된 색상으로만 보아 안정화 정도를 판별하면 대부분의 시설이 후속이 적절히 이루어진 것으로 나타났다. 생성된 퇴비는 흙냄새만이 나고, 발효공정상에서 발생하는 냄새가 퇴비에 나서는 안된다. 냄새가 없는 생성물을 배출하는 시설은 2곳인 것으로 아직까지 미숙된 것을 알 수 있으며, 실온에 비교하여 30℃이상 열이 발생하는 시설이 6곳으로 가장 많았으며, 열발생이 없이 안정화가 된 시설이 3곳이었다. 이러한 결과로부터 현재 설치되어진 후속시설의 생성물에서 냄새가 나고, 실온으로 비교하여 온도가 높은 것은 유기물이 충분히 안정화되지 않은 것을 의미하게 된다. 이러한 것으로 후속시설의 설치에 있어서 충분한 체류시간의 확보와 기계교반식이 아니더라도 주기적으로 로터에 의하여 뒤집기를 해주면서 운영하는 것이 필요하다.

3.7 2차 선별시설(최종제품 선별기)

발효공정과 후속공정이 끝난 후 1차 선별시설에

[Table5] Properties of Post-fermented Output

구분	색상				냄새		열발생여부(℃)		
	갈색	흙색	검은색	흙갈색	있음	없음	없음	15이상	30이상
서울특별시				2	1	1			2
부산광역시			1				1		
대구광역시									
인천광역시		1			1			1	
대전광역시									
울산광역시									
경기도			1		1				1
강원도									
충청북도				1					
충청남도	1	1				1			2
전라북도									
전라남도									
경상북도		1			1		1		
경상남도		1					1		1
제주도	1	1			2				
계	2	5	2	3	6	2	3	1	6



[Fig.10] Sorting by 2nd sorter.

서 제거되지 않은 불순물을 제거하여 품질을 향상하기 위하여 2차 선별공정을 갖는다.

3.7.1 2차 선별기에 의한 선별

[Fig. 10]에 나타나듯이 2차 선별은 입경차에 의한 채분리기의 선별을 가장 많이 하고 있었다. 금속성분을 선별하기도 하지만, 금속성분은 대부분 1차 선별기에서 선별이 이루어진다.

3.7.2 이물질의 발생량 및 조치

이물질의 1일 발생량과 생성된 비료에 대한 비율

은 [Table 6]에 나타냈다. 조사된 결과에서 이물질을 공정전체의 이물질을 명시하는 것을 착각하여 상당히 많은 량을 기입하여 두고 있다. 실제 최종생성물 중의 이물질이므로 통상적으로 1%이내인 것으로 판단되나, 일부시설에서 상당히 많이 발생하는 것으로 명시하고 있다.

생성된 비료에 대한 이물질의 비율이 50% 이상으로 명시한 시설이 2곳, 20%이상으로 명시한 곳이 2곳으로 이들은 생성된 비료의 함유되는 이물질량이 아닌, 전체공정상에서 이물질을 오기한 것으로 사료된다. 선별된 이물질에 대한 조치는 대부분 폐기물로서 처리하고 있는 것으로 조사되었다.

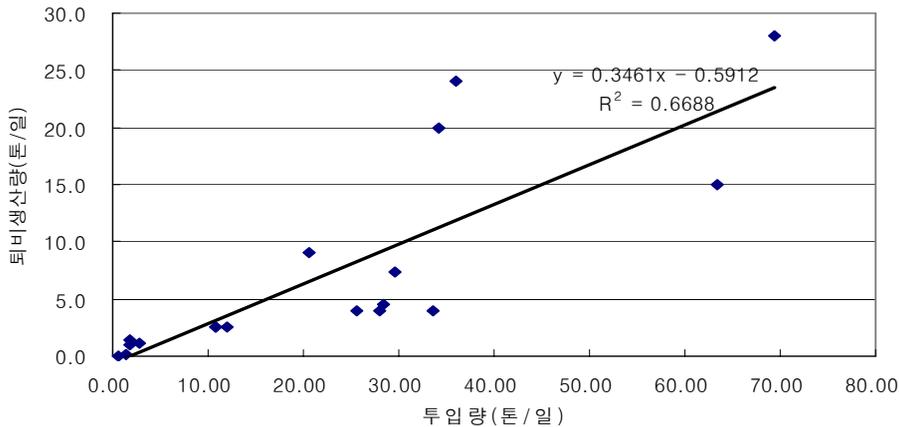
3.7.3 최종생성물의 량 및 성상, 용도

1) 퇴비의 생산량

조사되어진 시설 중에서 생산량을 명기한 19개 시설에 대하여 조사한 결과, 발효조에 투입되는 음식물쓰레기와 부재료의 1일 평균 투입량이 22.8톤이었으며 퇴비로 생산된 량은 7.3톤/일로서 감량

[Table6] Daily Foreign Substance Output and Its Rate to Produced Fertilizer

구 분	이물질 1일 발생량(일/kg)				생성된 퇴비에 대한 비율(%/생산비료량)			
	500미만	500이상	1000이상	5000이상	10이하	10이상	20이상	50이상
서울특별시	1		1				1	1
부산광역시	1				1			
대구광역시								
인천광역시				1				1
대전광역시			1					
울산광역시								
경기도		1			1			
강원도								
충청북도	2				1			
충청남도	3				2			
전라북도	1				1			
전라남도	1				1			
경상북도	1							
경상남도	2	1	1		2		1	
제주도	1			1	1	1		
계	13	2	3	2	10	1	2	2



[Fig.11] Produced compost volume vs. volume injected into a fermentation tank.

율이 68%를 보였다. 이 값은 발효도 투입량에 대하여 약 1/3이 퇴비로 생산되고 있는 것으로 장래 퇴비화시설의 설계에서 고려할 값으로 생각된다.<sup>9)</sup>

[Fig. 11]에는 발효조에 투입된 량에 대하여 생산되어진 퇴비량의 관계를 그림으로 표현한 것이다. 본 그림에서 알 수 있는 것과 같이 일부 시설이 투입된 량에 대하여 50%전후를 보이는 것은 제외하고 대부분의 시설에서 1/3선을 나타내는 것을 알 수 있다.

## 2) 생산된 퇴비의 성상

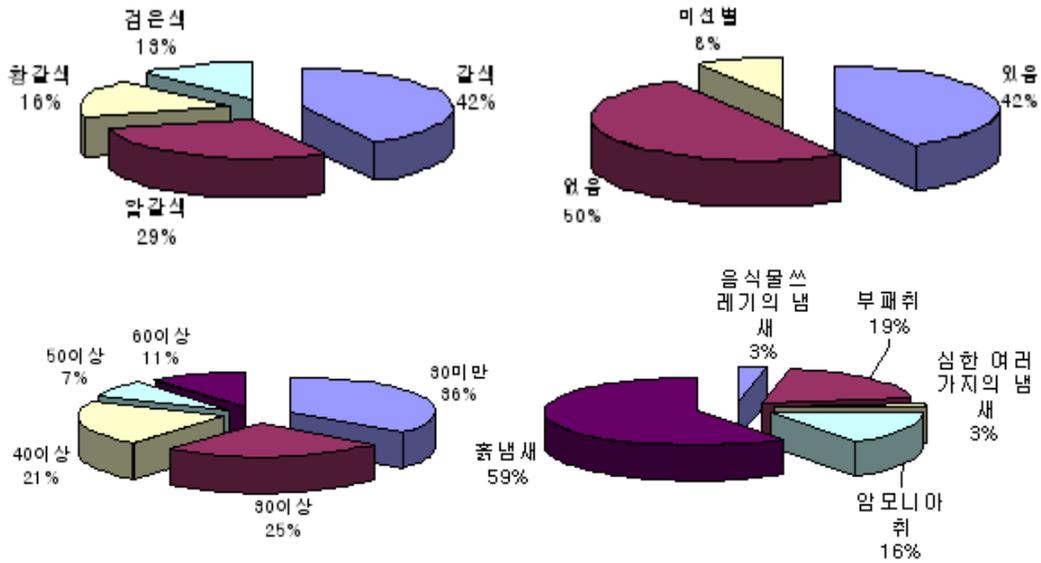
생산된 퇴비의 성상으로 생산된 퇴비의 품질을 알 수 있다. 퇴비화공정이 적정했으면 퇴비의 색상은 암갈색계열이며, 냄새는 흙냄새가 나야한다. 또한 이물질은 함유되어서는 안되며, 수분함량은 50%이내여야만 한다. 분해열이 잔류해서 높은 온도가 측정되어서도 안된다. 조사되어진 자료를 기반으로 전국에 위치한 퇴비화 시설의 50%정도는 퇴비화공정으로 적정하지 못했다는 것을 알 수 있다. 검은색이 13%, 황갈색 16%, 암갈색 29%, 갈색 42%로 생산된 퇴비의 색상은 대부분 갈색을 띠고 있어 색상면에서 퇴비로서 형태를 갖추고 있는 것을 알 수 있었다. 42%가 이물질을 함유했으며 미선별이 8%인 것으로부터 생산퇴비의 50%가 이물

질을 함유한 것으로 나타났다. 생산된 퇴비의 수분함량과 냄새는 [Fig. 12]에 나타났다. 수분함량이 50%를 상회하는 시설이 18%이고, 40%미만으로 적정한 퇴비를 생산한 시설은 61%로 나타났다. 생산된 퇴비에서 흙냄새가 나는 시설은 59%로 나타났다. 22%의 시설에서는 생산된 퇴비에서 부패취가 감지되어서 퇴비화가 적절치 못했음을 알 수 있다. 16%에서는 암모니아취가 감지된 것으로부터 후숙을 더 필요함을 알 수 있다. 생산된 퇴비의 성상으로 보아 전처리 시설과 후숙조 시설이 미설치된 곳은 반드시 설치되어야할 것으로 사료된다.<sup>10)</sup>

## 3) 최종생성물의 사용용도

음식물쓰레기를 이용하여 퇴비를 생산하여 공급하는 형태에 대하여 조사하였다[Table 7]. 생산된 퇴비는 49%가 전량농가에 공급, 20%가 재발효하여 공급하도록 조치(다시 퇴비화공정으로), 14%가 일부 농가에 공급하고 있었다. 아직까지 생산된 농가에서 적극적으로 사용되지 않는 것을 알 수 있다.

생산퇴비의 공급방법에 대하여 조사한 결과, 농가에서 직접운반하여 가는 곳이 11개소, 농가까지 운반하여 주는 곳이 11개소로 조사되었다. 1개소는 위탁업체에게 위탁하여 운반하고 있었다.



[Fig.12] Produced compost's color, foreign substance content, Water content(%), and odors.

[Table7] Supply of Produced Compost to Farmers and Supply Methods

구분	공급방법				공급방법				
	전량농가에 공급	일부농가에 공급(%) (나머지 별도처리)	재발효하여 공급하도록 조치	기타	직접 사용	농가까지 운반공급	운반업자에게 위탁	농가에서 직접 운반해감	기타
서울특별시	1	1				1		1	
부산광역시	2	1		1		3			1
대구광역시									
인천광역시				1					1
대전광역시			1						1
울산광역시									
경기도	4	1			1	4		1	
강원도			1				1		
충청북도		1	1					1	1
충청남도	2		1	2				3	
전라북도	2					2			
전라남도			1	1					2
경상북도	1							1	
경상남도	2	1	2			1		1	3
제주도	3			1				3	1
계	17	5	7	6	1	11	1	11	10

[Table8] Pay or Free Supply of Compost

구분	퇴비에 대하여 일정의 판매대금지수(원/톤)					처리비용을 부담하여 지불(원/톤)		무상공급
	1만미만	1만이상	2만이상	5만이상	10만이상	1만미만	1만이상	
서울특별시								2
부산광역시					1			3
대구광역시								
인천광역시								
대전광역시	1							
울산광역시								
경기도		1						5
강원도								1
충청북도			2					1
충청남도								1
전라북도								3
전라남도			1					
경상북도								1
경상남도		1					1	3
제주도					3			1
계	1	2	3		4		1	20

[Table 8]에는 퇴비의 판매여부를 조사하여 나타냈다. 조사된 31개소 중에서 20개소가 무상으로 공급하고 있었으며, 1개소는 역으로 처리비용을 부담하여 공급하고 있었다. 퇴비를 유상으로 판매하고 있는 곳은 10개소로서 톤당 10만원이상으로 판매하고 있는 곳이 4개소, 2만원이상이 3개소, 1만원이상이 2개소, 1만원미만이 1개소로 조사되었다.

이러한 조사결과로부터 아직까지 음식물 자원화 시설에서 생산된 퇴비는 가치가 부여되지 않는 퇴비로서 공급되고 있는 것을 알 수 있다. 퇴비에 가치를 부여하기 위해서는 전술한 바와 같이 부숙이 완전히 되어진 퇴비를 생산하도록 하여야한다.

#### 4. 결론 및 개선방안

조사되어진 40개소의 퇴비화시설이 적절한 설치가 이루어지지 않아 크고 작은 문제가 있는 것으로 판명되었으며, 음식물쓰레기의 자원화의 한 방법

으로서 퇴비화를 활성화하기 위해서는 다음과 같은 문제점을 개선하여 갈 필요성이 있는 것으로 조사되었다.

- 1) 음식물쓰레기의 반입량을 월평균 및 년 평균값으로 조사한 결과 월 평균값이 1,101.7톤/일, 년 평균값이 930.9톤/일으로 평균계획용량 1,270.9톤/일에 상당량 미달되는 것으로 나타났다. 음식물쓰레기의 발생량이 여름 가을에 많고 봄, 겨울에 적은 것으로 계절별 편차를 극복하기 위하여 설계를 하여야 하나 상기의 평일값 및 월요일의 최대반입량 조차도 계획량 대비 낮은 것으로부터 실제 발생량을 정확히 조사하고 처리용량을 결정해야 할 것으로 판단되었다.
- 2) 부재료로 주로 사용되는 톱밥이 최근에 조달이 어려운 것으로부터 톱밥의 량을 최소화할 수 있는 폐열을 이용한 건조 퇴비의 반송, 탈수효율의 제고 등이 적극적으로 이루어져야 할 것이다.

- 3) 퇴비화시설의 입지조건이 공장등록이 불가능한 지역에 위치하여 허가를 득하지 못한 경우가 많았다. 최근에 비료관련법이 개정되면서 무상으로 공급하는 퇴비라도 비료생산업자로 등록을 하여야 하는 것으로부터 농가에서 퇴비를 필요로 하여도 미등록으로 인하여 공급할 수 없는 상황에 놓여있다. 생산물의 원활한 유통을 위해서 각 지자체는 퇴비화시설의 비료생산업자로의 등록을 유도하여야 할 것이다.<sup>11)</sup>
- 4) 이물질의 유입, 기계의 노후 등의 고장에 의하여 퇴비화시설의 가동이 정지되는 경우가 있다. 주된 고장원인 기기는 발효시설과 파쇄시설로 나타났으며 금속류 이물질유입은 파쇄시설의 고장에 주된 원인이 되며 음식물쓰레기 자체 내에 함유된 염분에 의한 부식도 시설의 노후와 고장을 일으키는 것으로 사료된다. 고장 및 부식에 대비한 설계가 요구된다.
- 5) 혼합 시 수분은 50~60%정도로 적절하게 조정되어야 적절한 퇴비화가 되는 것으로부터 혼합된 물성은 수분이 과다하거나 부족해서는 않된다. 톱밥, 음식물쓰레기, 반송퇴비가 적절하게 혼합되어 초기조건을 만족시키도록 해야 할 것이다.
- 6) 1차 발효시설은 체류시간 15일, 후부숙조는 21일된 것은 최소기준인 것으로부터 대상으로 되는 음식물쓰레기의 분해정도 1차 발효시설의 종류에 따라서는 분해에 더 많은 시간이 소요됨으로 시설의 특징을 초기에 잘 파악하여 체류시간을 결정할 필요성이 있다.
- 7) 현재 대부분의 시설에 부숙조가 설치되어 있지 않은 실정이다 1차 발효조차도 완벽하지 않은 점으로부터 반드시 후부숙조를 설치하고, 저장조용량을 충분하게 하여 부숙도 기준에 적합한 퇴비가 생산되도록 해야 한다.
- 8) 미생물의 산화열에 의하여 발효조가 운영되어 경제성이 확보되어야 하나, 조사에 응한 25개소 중에서 14개소가 발효조에 어떠한 형태이든지 가온을 하고 있는 것으로 조사되었다 이들 가온시설은 역으로 미생물의 성장을 억

제하여 퇴비화반응을 저해될 수 있는 것으로부터, 퇴비화에 있어서 미생물산화열을 이용하여 가능한 수분을 증발시키는 것을 기본으로 설계되어야 한다.

- 9) 퇴비생성물에서 발생하는 이물질 중에서 비닐, 뼈 등과 같이 퇴비에 포함될 시에 위해요인이 되는 것은 폐기물로서 처리하는 것이 타당하나, 나무껍질 등 재분해가 가능한 것은 가능한 1차 발효조로 이송하여 재분해함으로써 폐기물의 발생량을 최소화해야 할 것이다.
- 10) 퇴비의 생산량을 발효조에 투입되는 음식물쓰레기와 부재료의 1일 평균 투입량이 22.8톤이었으며 퇴비로 생산된 양은 7.3톤/일로서 감람율이 68%를 보였다. 이 값은 발효토 투입량에 대하여 약 1/3이 퇴비로 생산되고 있는 것으로 장래 퇴비화시설의 설계에서 고려할 값으로 생각된다.
- 11) 생산된 퇴비의 성상을 색상, 분해열의 잔류여부, 냄새 등으로 양질의 여부를 판단한 결과, 퇴비한 시설의 50%정도는 퇴비화공정이 적정 설치 운영이 되지 못했다는 것이 밝혀졌다. 생산된 퇴비가 토양에 건전한 형태로 제조되어야 할 것이다.
- 12) 아직까지 음식물 자원화시설에서 생산된 퇴비는 가치가 부여되지 않는 퇴비로서 공급되고 있는 것을 알 수 있다. 퇴비에 가치를 부여하기 위해서는 이전에서 지적된 것과 같이 부숙이 되어진 좋은 퇴비를 생산하여야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 정재춘, 손영목, “지자체의 음식물쓰레기 순환자원화시스템의 구축방안”, 한국유기성자원학회, 10(2), pp 17~24 (2002)
2. 배재근, “음식물쓰레기의 자원순환체계 구축방안에 대한 검토”, 한국유기성자원학회, 9(4), pp 28~40 (2001)
3. 한국유기성자원학회, “퇴비화의 이론 및 응용”, 동화기술, (1999)

4. 배재근, “음식물쓰레기 퇴비화시설의 운영상의 문제 및 해결방안”, 한국유기성자원학회 10(2) pp 25~37 (2002)
5. 배재근, 장기운, 최훈근, “음식물쓰레기 관리와 자원화기술”, 한국유기성자원학회 (2002)
6. 한의정, 이중기, 최훈근, 이재한, 박귀한, 김규연, 배재근, “각종 유기성오니의 성분분석을 통한 퇴비화 가능성 검토”, 한국유기성자원학회, 8(1), pp 109~120 (2000)
7. 배재근, 최종오, 심혁성, “소멸화 퇴비화의 응용화 및 최적반응조건 검토, 한국유기성자원학회 추계학술대회 논문초록집 pp 33~36 (1996)
8. 배재근, “음식물쓰레기 감량화수단으로서 소멸화방법에 대한 검토”, 한국유기성자원학회 10(2), pp 7~16 (2002)
9. 배재근, 주홍수, 류재영 “음식물쓰레기 자원화를 위한 배출업종별 성분 및 특성의 비교, 한국유기성자원학회 9(4), pp 117~125 (2001)
10. 배재근, 박정수, 최훈근, 이재안, 김규연, 이길철, 이중기, 박귀한, “국내생산 퇴비의 부속도 기준의 적합성 검토”, 한국유기성자원학회, 9(2), pp 77~86 (2001)
11. 장기운, 배재근, 최훈근 “음식물쓰레기 자원화 관련법규 및 자원화 표준공정”, 한국유기성자원학회, 10(2), pp 7~16 (2002) 