

## 가정용 소형 퇴비화용기에 의한 부엌쓰레기의 분산식 퇴비화

### I. 실험실 조건에서 퇴비화 연구

서정윤\* · 주우홍\*\*

## Decentralized Composting of Garbage in a Small Composter for Dwelling House

### I. Laboratory Composting of the Household Garbage in a Small Bin

Jeoung-Yoon Seo\*, Woo-Hong Joo\*\*

### Abstract

The garbage from the dwelling houses was composted in two kinds of small composter in laboratory to investigate the possibility of garbage composting. They were general small composters. One (type 1) was insulated but the other (type 2) was not. Because it was found that type 2 was not available for composting under our meteorological conditions through winter experiment, only type 1 was tested in spring and summer. The experiment was performed for 8 weeks in each season. The seasonal variation of several compounds in compost was evaluated and discussed. The result summarized belows are those taken at the end of the experiment, if the time was not specified.

- 1) The maximum temperature was 58°C in spring, 57°C in summer and 41°C in winter. This temperature was enough to destroy the pathogen except for winter.
- 2) The mass was reduced to average 62.5% and the volume reduction was average 74%.
- 3) The density was estimated as 0.7kg/ℓ in spring, 0.8kg/ℓ in summer and 1.1kg/ℓ in winter.
- 4) The water content was not much changed for composting periods. It had 75.6% in spring and 76.6% in summer and winter.
- 5) There was a great seasonal difference in pH value. It was reached to pH 6.13 in spring, pH 8.62 in summer and pH 4.75 in winter.

---

\* 창원대학교 공과대학(College of Engineering, Changwon National University Changwon, 641-773 Korea)

\*\* 창원대학교 자연과학대학(College of Natural, Changwon National University, Changwon, 641-773 Korea)

6) The faster organic matter was decomposed, the greater ash content was increased. Cellulose and lignin content were increased, but hemicellulose content was reduced during composting period.

7) Nitrogen contents were in the range of 3.1–5.6% and especially high in summer. After ammonium nitrogen contents were increased at the early stage of composting period, they were decreased. The maximum ammonium nitrogen content was 3,243mg/kg after 2 weeks in winter, 6,053mg/kg after 3 weeks in spring and 30,828mg/kg after 6 weeks in summer. C/N-ratios were not much changed. Nitrification occurred actively in spring and summer.

8) The contents of volatile and higher fatty acids were increased in early stage of composting and reduced after that. The maximum content of total fatty acid was 10.1% after 2 weeks in winter, 5.8% after 2 weeks in spring and 15.7% after 4 weeks in summer.

9) The contents of inorganic compounds were not accumulated as composting was proceeded. They were in the range of 0.9–4.4%  $P_2O_5$ , 1.6–2.9%  $K_2O$ , 2.4–4.6%  $CaO$  and 0.30–0.80%  $MgO$ .

10) CN and heavy metal contents did not show any tendency. They were in the range of 0.11–28.99mg/kg CN, 24–166mg/kg Zn, 5–129mg/kg Cu, 0.8–14.3mg/kg Cd, 7–42mg/kg Pb, ND–30mg/kg Cr and ND–132.16  $\mu\text{g/kg}$  Hg.

## 서론

오늘날 환경오염은 몇몇 국가나 지역차원의 문제가 아닌 전 지구인들의 공통된 관심사가 되고 있어 이에 대처하기 위한 방안들이 국제적으로 긴밀하게 강구되고 있다. 우리나라도 수차에 걸친 경제개발 계획을 거치는 동안 환경오염에 소홀히 대처했던 결과가 서서히 표면화되면서 민주화과정인 지방자치제 실시와 아울러 더욱 심각한 양상들이 크게 문제점으로 대두되고 있다. 특히 우리의 생활쓰레기 발생량은 세계에서 단연 1위이며 발생하는 생활쓰레기의 94% 이상을 매립에 의존하고 있기 때문에 매립장 담당 행정부서와 국민 사이에 극한 대립 양상을 보이고 있다. 이와같은 현상은 공업화과정에서 수반되는 아주 자연적인 것으로 생각할 수 있으나 시급하게 해결되어야 할 문제이다.

그러나, 폐기물 관리는 어느 일부의 노력에 의하여 해결될 수 있는 것이 아니라 폐기물 배출자인 모든 국민의 적극적인 호응 없이는 대단히 해결하기 어려운 문제이다. 이제 우리 국민들도 폐기물에 의

한 환경오염의 심각성을 인식하고 효율적인 폐기물 관리를 위하여 적극적인 참여를 모색하고 있으나 현재로서는 제도적인 또는 재정적인 문제로 한계에 부딪치고 있는 실정이다.

이상적인 폐기물 관리를 위해서는 무엇보다 먼저 발생장소에서 같이 처리되어질 수 있는 성분들이 분리수거되어야 한다. 폐기물 중 재활용 성분을 제외하면 소각, 퇴비화 또는 매립되어야 할 성분만 남게 될 것이다. 매립장에 의하여 발생하는 2차 환경오염을 고려한다면 우리는 매립되어야 할 성분량을 줄이는데 폐기물 관리의 최우선 목표로 삼아야 할 것이다. 이를 위하여 우선적으로 소각 및 퇴비화에 역점을 두어야 할 것이고 더우기 지방화시대와 더불어 매립장 확보가 더욱 어려울 것을 감안한다면 보다 적극적으로 소각 및 퇴비화를 모색해야 할 것으로 생각된다.

소각은 매립되어야 할 폐기물량을 최소한으로 줄일 수 있으면서 가장 위생적인 폐기물 관리 방법이기 때문에<sup>1)</sup> 정부에서도 재정이 확보되는대로 소각장 건설을 계획하고 있다. 그러나 퇴비화는 소각

과 상당히 다른 관심을 보이고 있다. 최근 생활쓰레기 분석에서 보면 음식 쓰레기가 약 40% 정도를 차지하고 있고 또한 이것은 수분을 거의 80% 이상 함유하고 있다. 그러므로 이들이 가연성 쓰레기와 함께 소각처리 되면 함유되어 있는 수분이 기화하면서 많은 열량을 소비하기 때문에<sup>2)</sup> 큰 열량 손실이 발생하게 된다. 따라서 음식쓰레기 및 퇴비화할 수 있는 것은 쓰레기는 소각 성분에서 제외되어야 함은 당연하며, 분리, 퇴비화 하여 다시 재활용 되어야 할 것이다.

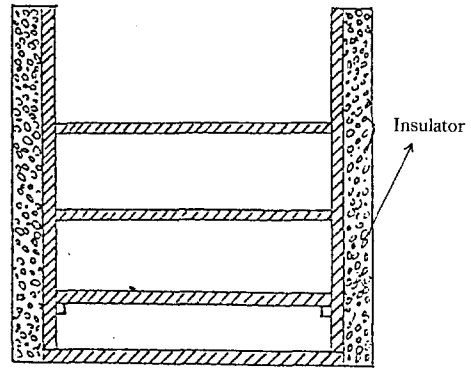
퇴비화의 방법은 일반적으로 집중식 및 분산식 방법으로 분리할 수 있으나 집중식은 퇴비장 건설에 막대한 경비와 또한 퇴비 중 중금속 및 불순물 함량 증가를 초래하여 생산된 퇴비사용에 문제점이 발생하나<sup>3,4)</sup> 분산식 퇴비화는 퇴비화 할 수 있는 폐기물 발생장소에서 분리되어 퇴비화되기 때문에 퇴비중 오염물질 함량을 줄일 수 있고 또한 수거되어야 할 양이 퇴비화로 인하여 감소(약 50%)되기 때문에 집중식 퇴비화보다 이점이 있다<sup>3)</sup>.

따라서 본 연구에서는 생활쓰레기가 발생하는 각 가정에서 퇴비화 할 수 있는 쓰레기를 분리 수거하여 퇴비화 할 수 있는 두가지 퇴비화용기의 적용성 여부를 실험실 실험을 통하여 실시하였다.

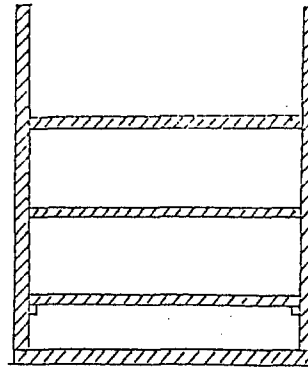
## 실험방법

### 1. 소형퇴비화용기

소형퇴비화용기는 Fig. 1과 같이 2 종류를 제작하여 실험에 사용하였다. 두 용기의 차이점을 보면 Type 2는 일반적인 사각형 통이며 type 1은 type 2와 같은 용기이나 50mm 두께의 스티로폼로 보온을 하였다. 각 용기의 내부에는 매주 투입되는 퇴비원료물질이 구분될 수 있도록 사각형 다공판을 넣고 이 판이 퇴비물질과 함께 아래로 이동하여 용기바닥으로부터 200mm 상부 벽에 있는 턱에 걸려 더 이동하지 못하도록 하였다. 필요시에 이 판을 앞쪽으로 당겨 빼내면 본 층의 퇴비는 아래 공간에



Type 1



Type 2

Fig. 1. Types of composter.

모이고 그 바로 위 층의 판이 중력에 의하여 아래로 이동하여 턱에 걸려 고정되므로써 위 층의 영향을 받지 않고 아래 층의 퇴비를 제거할 수 있도록 하였다.

### 2. 퇴비원료물질 및 투입방법

퇴비원료물질은 한 아파트를 선정하여 비치되어 있는 쓰레기통에서 부엽쓰레기를 분리한 후, 학교 실험실로 옮겨 퇴비화용기에 계획에 따라 투입하였다. 처음 투입할 때는 퇴비화용기의 절반 정도를 왕겨로 채우고 그 바로 위 한 층에 퇴비화물질을 약 15cm 두께로 투입하므로써 처음 투입되는 층이 급적이면 외부의 직접적인 영향을 받지 않도록 하

였다. 또한 한 층에 퇴비원료물질이 투입되면 1주 내지 2주일 동안 그 상태에서 퇴비화를 진행시킨 후 그 위 층에 새로운 퇴비원료물질을 투입하였다. 퇴비원료물질 투입시기는 처음 한달은 매주, 두번째 한달은 두 주에 한번 투입하여 총 두달동안 퇴비화시킨 후 퇴비를 회수하도록 하였다.

Table 1. Experimental Period.

season	spring	summer	winter
period	'93. 3. 19. ~5. 14.	'93. 7. 5. ~8. 30.	'92. 12. 17. ~'93. 2. 11.

### 3. 실험기간, 시료채취 및 조제

실험은 각 계절별 Table 1과 같이 실시하였고 시료는 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8주마다 같은 층에서 채취하였다. 채취된 시료는 건조시에 변하는 성분은 건조하지 않고 젖은 상태로 채취 후 가위로 적당히 잘라서 분석하였으며 그 외의 성분은 시료를 105°C에서 건조시킨 후 1mm 이하의 크기로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다.

### 4. 측정 및 분석방법

#### (1) 온도측정

온도측정은 왕겨층으로부터 두번째 퇴비층에서만 측정하여 퇴비화 시간의 경과와 층의 이동에 따른 온도 변화를 조사하였다. 본 온도 측정에는 자동온도측정기록계를 사용하였으며 외기 온도도 같이 측정하였다.

#### (2) pH 측정

젖은 시료 100g에 증류수 250ml를 넣고 잘 교반하여 30분 방치 후 pH-meter로 측정하였다.

#### (3) 회분(ashes) 및 유기물(organic matter)

회분량은 600°C에서 3시간 회화시켜 잔류성분량의 무게로서 측정하고 처음 분석시료에서 회분량을 뺀 값을 유기물량으로 하였다.

#### (4) Cellulose

본 분석방법은 Finn Alstin<sup>5)</sup>의 방법으로 시료 1g에 acid detergent solution 100ml를 가하여 환류냉각기에서 정확히 1시간 끓인 후 G2 유리여과기로 감압여과 하였다. 잔유물을 뜨거운 물로 2-3번 세척한 후 다시 아세톤으로 2번 세척하고 잔유물을 함유한 G2 유리여과기를 온도 105°C에서 정확히 8시간 건조한 후 무게(W1)를 측정하였다. 다시 G2 유리여과기 잔류물을 72% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로써 3시간 동안 매시간 1번씩 저어주면서 섬유소를 산분해시킨 후 감압여과하고 G2 유리여과기 잔류물을 뜨거운 증류수로 3번 세척하고 다시 105°C에서 잔류물이 남은 G2 유리여과기를 정확히 4시간 건조한 후 무게(W2)를 측정하여 W1에서 W2의 무게를 뺀 값을 cellulose 양으로 하였다.

#### (5) Ligin

Cellulose 분석 후 G2 유리여과기에 남은 잔유물을 다시 500°C에서 3시간 회화한 후 그 무게감량을 리그닌양으로 하였다<sup>5)</sup>.

#### (6) Hemicellulose

본 분석방법 역시 Finn Alstin<sup>5)</sup>의 방법으로 시료 2.3g에 0.15g Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>를 첨가하고 여기에 neutral detergent solution 50ml를 가한 후 환류냉각기에서 끓기 시작해서부터 1시간 끓여 식힌다. 미리 500°C에서 회화하여 무게를 달아둔 G2 유리여과기에서 감압여과하였다. 뜨거운 증류수로 2-3번 여과기 아래에 거품이 생기지 않을 때까지 씻어준 후 2번 아세톤으로 씻은 다음 105°C에서 8시간 건조시켜 무게(W3)를 측정하였다. 이것을 다시 500°C에서 3시간 동안 회화하여 무게(W4)를 측정한 후 W3에서 W4의 무게를 빼면 hemicellulose, cellulose, lignin의 전체량(W5)을 얻었다. 이 값(W5)에서 cellulose lignin의 함량을 빼어 hemicellulose 양으로 하였다.

#### (7) 암모니아태 질소

젖은시료 100g에 증류수 700ml를 가하여 충분히

저은 후 여과하여 여액을 시료로 하여 인도페놀법에 의하여 발색시켜 파장 640nm에서 흡광도를 측정하여 함량을 계산하였다<sup>6)</sup>.

**(8) 질산태 질소**

암모늄태 질소 분석용 여액을 시료로 하여 부루신법에 의하여 황산산성에서 질산이온을 부루신과 반응시켜 생성된 황색화합물을 파장 410nm에서 흡광도를 측정하고 미리 작성한 검량선으로부터 질산성 질소의 양을 구하였다<sup>7)</sup>.

**(9) 아질산성 질소**

암모늄태 질소 분석용 여액을 시료로 하여 아질산이온을 슬퍼닐아미드와 반응시켜 디아조화 하고  $\alpha$ -나프틸 에틸렌디아민이염산과 반응하여 생성된 아조화합물의 홍색을 파장 540nm에서 흡광도를 측정 한 후 미리 작성한 검량선으로 부터 아질산성 질소 함량을 계산하였다<sup>7)</sup>.

**(10) 총 질소**

젖은 시료를 Kjeldahl 방법에 의하여 분석하였다<sup>8)</sup>.

**(II) 총인**

**① 시료의 전처리<sup>9)</sup>**

조제한 분석용 건조시료 2g을 100ml 분해용 플라스크에 취하고 진한 질산 5ml를 가하여 시료를 잘 적신 후 처음에는 서서히 가열하다가 차차 온도를 올려 180-200°C에서 가열 건조하였다. 이것을 식힌 후 ternary solution( $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HClO}_4 = 10 : 1 : 4$ ) 10ml를 가해서 200°C 전열판에서 가열하여  $\text{H}_2\text{SO}_4$  및  $\text{HClO}_4$ 의 흰 연기를 내고 분해액이 백색이 되거나 갈색으로 투명하게 될 때 분해를 멈추었다. 냉각시킨 후 뜨거운 증류수를 가해 메스플라스크에 여과하고 계속 뜨거운 증류수로 분해플라스크를 씻어 여과하였다. 여액은 표선까지 채워 P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Cd, Cr, Pb 등의 분석에 사용하였다.

**② 분석**

전처리한 여액을 시료로 하여 몰리브덴산암모니

움법에 의하여 분석하였다<sup>9)</sup>.

**(12) 칼륨(K)**

총인 분석용 전처리한 여액을 시료로 하여 원자흡광광도법으로 측정하였다.

**(13) 시안(CN) 및 수은<sup>7)</sup>**

**① 용출조작**

젖은시료 70g에 pH 5.8-6.3로 조정 한 증류수 700ml를 가해 이 용액을 상온, 상압에서 진탕회수가 매분당 약 200회, 진폭 4-5cm의 진탕기를 사용하여 6시간 연속 진탕한 다음 여과하고 여과액을 시안 및 수은 분석에 사용하였다.

**② 분석**

시안은 공정시험방법 폐기물편에 따라 용출조작에서 얻은 여과액을 전처리한 후 피리딘-피라졸론법에 따라 발색시켜 파장 620nm에서 흡광도를 측정하여 작성한 검량선으로부터 농도를 구하였다. 한편 수은도 공정시험법에 따라 용출조작에서 얻은 시료를 전처리한 다음 원자흡광광도법(환원기화법)에 의하여 측정하였다.

**(14) Ca, Mg 및 각종 중금속**

총인 분석용 전처리용액을 시료로 하여 원자흡광광도법에 의하여 분석하였다<sup>7)</sup>.

**(15) 휘발성 및 고급유기산<sup>10)</sup>**

**① 휘발성유기산**

젖은 시료 100g에 증류수 300ml 가한 후 온도 1°C로 유지되는 냉동실에서 가끔 유리막대로 저어주면서 24시간 보존한 후 일정액을 증류장치에서 증류하여 증류액을 다시 증류수에 포집하였다. 이액을 0.1 N-NaOH 용액으로 적정하여 아세트산량으로 휘발성유기산 함량을 환산하였다.

**② 고급유기산**

젖은 시료 100g에 0.1 N 황산 300ml를 가하여 유리봉으로 가끔 교반하면서 24시간 온도 1°C로 유지되는 냉동실에 보관한 후 여과하였다. 이 여액 일정량을 취하여 diethyl ether로 추출하고 추출액

중 ether를 증발시키고 잔유량의 무게를 총고급유 기산으로 하였다.

(16) 탄소함량

탄소함량은 분석방법에 의하여 직접 측정하지 않고 서<sup>11)</sup>가 퇴비 중 탄소함량을 분석하여 얻은 유기물함량과의 관계식으로부터 계산하였다.

결과 및 고찰

Fig. 2 및 3에 두 용기의 퇴비화기간에 따른 퇴비 중의 온도변화를 나타내었다. 일반적으로 퇴비원료 물질을 퇴비더미로 쌓아 퇴비화할 때 옮겨쌓기를 해주지 않으면 온도는 초기에 점점 상승하여 최고 온도까지 도달하였다가 하강하는 경향이<sup>12)</sup> 본 퇴비화용기들에서는 상승, 하강이 반복되었다. 이러한 결과는 퇴비더미를 옮겨 쌓아준 직후에 온도가 상승하는 것과 같은 효과로 생각할 수 있어 본 실험에 사용된 용기에서는 퇴비화에 필요한 산소가 상당히 원활하게 공급될 수 있다는 것을 확인시켜 주었다. 우선 겨울철 실험에서 두 용기에서의 최고온도를 보면 보온을 하지 않았을 때(Type 2) 22°C, 보온을

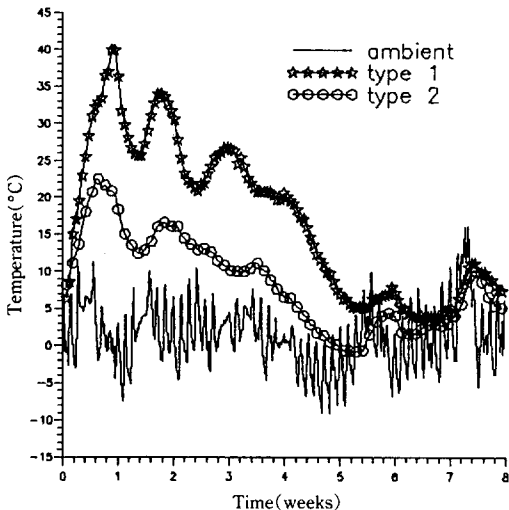


Fig. 2. Temperature evolution in the bin-type composter in winter.

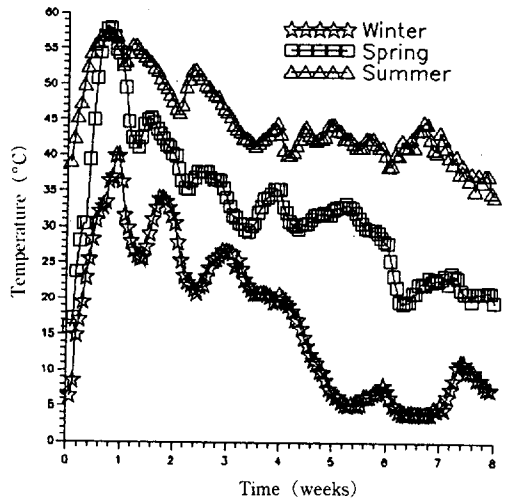


Fig. 3. Seasonal temperature evolution in the bin-type composter (type 1).

하였을 때(Type 1) 41°C였다. 따라서 Type 2는 우리나라의 겨울철 기후조건에서 퇴비화용기로 사용할 때 병원균의 사멸에 문제점이 있을 것으로 생각되었으며 Type 1도 병원균의 완전한 사멸을 보장할 수 있는 온도에는 도달하지 못하였지만<sup>13,14)</sup> 외국에서 사용되고 있는 퇴비화용기에서는 최고온도<sup>3)</sup>와 비교하여 볼 때 충분히 사용할 수 있을 것으로 판단되었다. 이상의 온도변화로부터 우리나라의 겨울철 기후조건에서 소형퇴비화용기를 이용하여 야외에서 퇴비화할 때는 용기의 보온이 꼭 필요하다는 것을 알 수 있었다. Type 2에서 계절별 온도변화를 보면 최고온도가 봄철에 58°C, 여름철에 57°C로 병원균의 사멸에는 충분하였다. 여름보다 오히려 봄철의 최고온도가 높았던 것은 여름철에 전반적인 온도가 높아 유기물질의 분해가 활발하여 퇴비전체의 양이 빠른 속도로 감소되어 발생된 열손실이 많아 최고온도가 낮아진 것으로 사료되었다. 이러한 실험결과로 미루어 볼 때 Type 2는 실용성이 없는 것으로 생각하여 지속적인 계절적 실험에서 제외하고 Type 1만으로 계속하였다.

Fig. 4에는 퇴비화기간에 따른 퇴비물질의 계절별

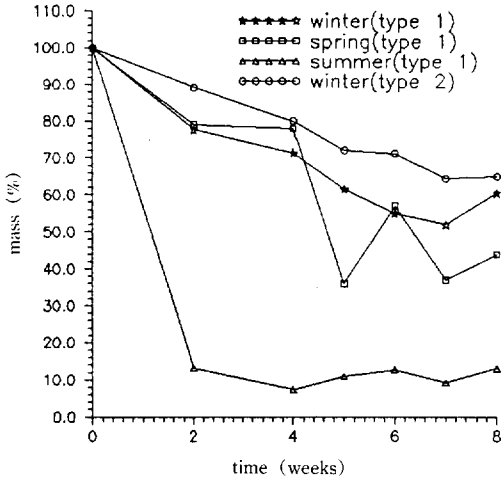


Fig. 4. Mass evolution of the compost during the experimental period.

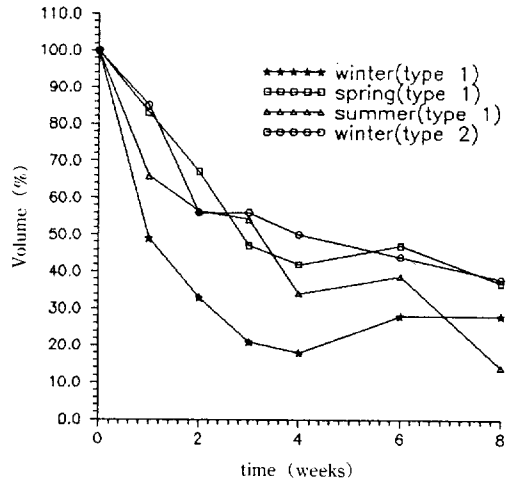


Fig. 5. Volume evolution of the compost during the experimental period.

무게 감소경향을 나타내었다. 여기서의 무게는 수분이 포함된 무게지만 퇴비화 전기간을 통하여 차이는 있으나 뚜렷한 감소현상을 보이고 있었다. 물론 겨울철 용기의 보온이 되지 않았을 때(Type 2) 가장 완만하게 감소하였으며 이것은 온도가 낮게 유지되어 미생물 활동이 활발하지 못하였기 때문이었다. 그러나 Type 1에서는 보온으로 인하여 Type 2에서 보다 큰 감소경향을 보였고 특히 여름철에는 높은 온도 유지로 인하여 이미 2주째에 유기물 분해가 거의 완료된 것을 볼 수 있었다. 8주 후 Type 2에서는 35.0%, Type 1에서는 겨울 39.5%, 봄 61.0%, 여름 87.0%, 평균 62.5%의 무게가 감소하여 계절별로 대단히 큰 차이를 보였다.

한편 Fig. 5의 퇴비화시간경과에 따른 부피변화에서는 전반적으로 초기 3주까지 급격한 감소 후 완만하게 감소하였으며 역시 계절에 따라 약간의 차이를 보였고 여름에 가장 크게 감소하였다. 초기에 부피가 크게 감소한 것은 윗층에 새로운 퇴비물질이 투입됨으로 인하여 무게에 의한 물리적 압축이 부피를 감소시키는 주 역할을 하였으나 그 이후 물리적인 압축은 크게 영향을 미치지 못한 반면 퇴비화

물질의 생물학적 분해 등으로 인하여 완만하게 감소된 것으로 생각되었다<sup>15)</sup>. 8주 후 초기에 비하여 퇴비의 부피는 Type 1에서 봄철 64%, 여름철 87%, 겨울철 72%로 평균 74%, Type 2에서는 겨울철 62%로 감소하여 이렇게 생산된 퇴비를 통촌까지 운반한다고 가정할 때 발생 당시의 쓰레기 부피의 약 1/3 정도로 줄어들어 현재 쓰레기 매립장까지 운반거리의 3배 떨어진 장소까지 같은 비용으로 운반이 가능하여 추가 부담없이 사용자에게까지 퇴비를 공급함으로써 매립으로 인한 막대한 비용 및 2차오염을 줄일 수 있을 것으로 생각되었다.

Fig. 6의 퇴비화과정 중 밀도변화는 일반적으로 약간의 차이는 있으나 시간이 경과함에 따라 증가하였다. 단 Type 1에서 여름철에 초기 4주까지 감소하였는데 이것은 이 기간동안 퇴비의 맨 위층이어서 하중도 받지 않은 반면 유기물 분해는 왕성하여 무게의 감량이 컸기 때문이었으며 그 이후에는 위층에 퇴비물질이 점점 많아져서 증가하였다. 겨울철에 Type 1에서 초기 2주까지는 Type 2 보다 밀도가 낮았으나 그 이후에는 오히려 Type 1이 Type 2 보다 높았다. 계절적으로는 여름에 밀도가 가장

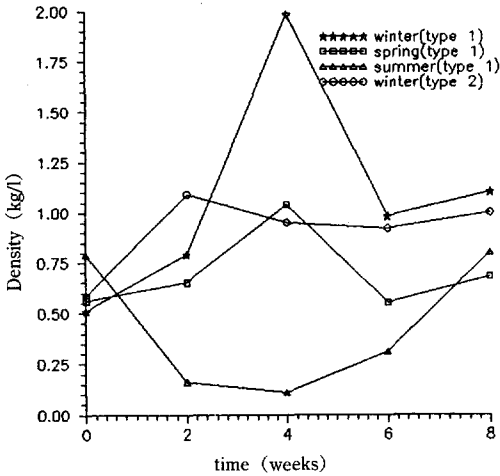


Fig. 6. Density evolution of the compost during the experimental period.

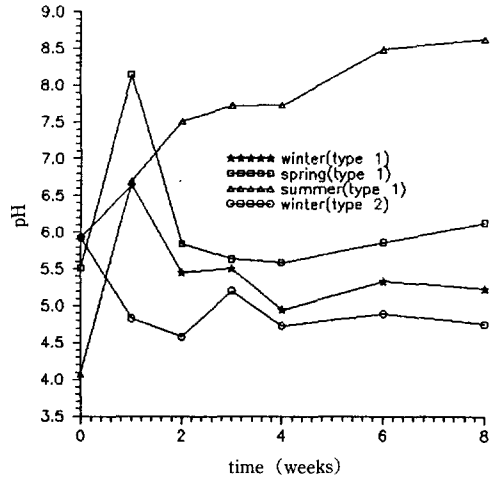


Fig. 7. pH value evolution of the compost during the experimental period.

Table 2. Water content evolution of the compost during the experimental period (unit : %)

time (weeks)	vessel type season	type 1			type 2
		winter	spring	summer	winter
0		75.0	67.4	85.4	75.0
1		79.9	81.2	81.1	84.7
2		85.6	83.7	82.6	73.7
3		76.4	78.6	86.0	73.7
4		84.9	70.0	86.5	76.2
6		79.3	78.6	81.6	79.3
8		76.6	76.5	76.6	77.2

낮았고 겨울철에 가장 높았는데 이것은 계절적으로 유기물 분해 속도가 다르기 때문에 가장 밀도에 영향을 많이 미치는 하층의 차이에 기인된 것으로 판단되었다. 그러나 밀도에는 사이사이에 들어 있는 분리판이 아래로 이동하면서 퇴비층과 분리판 사이에 생성되는 공간의 크기에 따라 또한 영향을 크게 미칠 수 있다는 것을 고려해야 하기 때문에 Type 1에서 겨울철 4주째 1.98kg/l 까지 높아질 수 있었던 것은 퇴비층과 분리판 사이의 공간이 줄어들기 때문에 상대적으로 높아졌을 것으로 여겨졌다. 8주 후

Type 2에서 겨울철 1.0kg/l, Type 1에서는 봄철 0.7 kg/l, 여름철 0.8kg/l, 겨울철 1.1kg/l였다.

Table 2에서 수분함량을 보면 퇴비화의 진행 시간과 무관하게 별 차이가 없음을 알 수 있다. 수분의 유실이 없다면 시간의 경과에 따라 유기물이 분해되면서 물이 생성되므로 오히려 수분함량은 증가하여야 하나 큰 변동없이 유지된 것은 증발에 의한 것이라기 보다는 과도한 수분이 아래로 흘러내려 유실되었기 때문으로 볼 수 있었다. 8주 후 Type 1에서 봄철 75.6%, 여름철 76.6%, 겨울철 76.6% 그



리고 Type 2에서 겨울철에 77.2%였다. 따라서 소형 용기로 개인주택에서 퇴비화할 때 어떻게 수분함량을 줄일 수 있을 것이냐 하는 것이 문제점으로 지적되었다.

Fig. 7에는 퇴비화과정 중 pH의 변화를 나타내었다. pH의 변화양상은 우선 3가지 유형으로 구분되었다. 첫째형은 초기부터 감소하여 그 후 거의 큰 변화없이 일정하게 유지한 Type 2의 겨울철 pH 변화였으며 두번째형은 초기에 증가했다가 다시 감소 후 증가 내지는 큰 변화가 없었던 형으로 Type 1에서 겨울 및 봄철에 볼 수 있었다. 세번째형은 초기부터 계속적으로 증가는 하나 후반으로 갈수록 증가가 완만해지는 형이었다. 첫째형은 유기물 분해속도가 가장 늦을 때 볼 수 있었던 유형으로 pH를 증가 내지는 중화시킬 수 있는 암모니아나 무기성분의 생성이 크기 않았으며 유기산의 함량도 거의 일정하게 유지되었다. 두번째형은 중간 정도의 유기물 분해속도를 유지했을 때로 유기물 분해속도가 빠르면 빠를수록 전 기간동안 pH가 높았고 후반기에 빨리 증가하였다. 세번째형은 유기물 분해속도가 가장 빠를 때로 초기에는 오히려 중간 정도의 유기물 분해속도를 가질 경우보다 완만하게 증가하였

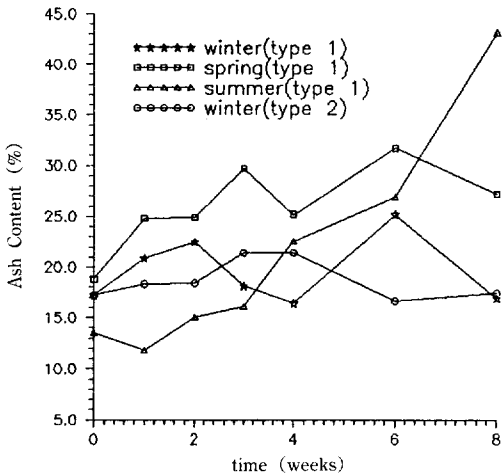


Fig. 8. Ash content evolution of the compost during the experimental period.

으나 계속적으로 상승하였다. 8주 후 Type 1에서 pH는 봄철 6.13, 겨울철 5.23, 여름철 8.62, Type 2에서 겨울철 4.75이었다.

Fig. 8에서 퇴비화의 진행에 따른 회분함량 변화를 보면 겨울철에는 전반적으로 함량에 큰 차이가 없었으며 봄철 및 여름철에는 증가하였다. 두 계절을 비교할 때 봄철 보다는 여름철에 더욱 크게 증가하였다. 겨울철에 회분함량이 시간의 경과에도 불구하고 변화가 없었던 것은 유기물의 분해에 의하여 생성된 회분이 과도한 수분에 의하여 아래로 씻겨 내렸기 때문으로 생각되었<sup>15)</sup> 봄철 및 여름철에도 겨울철과 마찬가지로 유실은 생기더라도 유기물 분해속도가 훨씬 커서 회분함량이 증가한 것으로 여겨졌다. 8주 후 Type 1에서 봄철 27.2%, 여름철 43.2%, 겨울철 16.9% 그리고 Type 2에서 겨울철 17.4%였다.

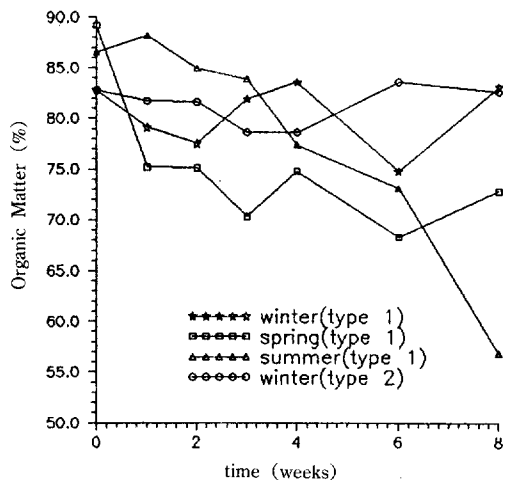


Fig. 9. Organic matter content evolution of the compost during the experimental period.

Fig. 9에서 퇴비화 기간의 경과에 따른 유기물함량 변화를 나타내었다. 유기물함량은 회분함량과는 반대로 시간의 경과에 따라 감소하는 경향을 보이고 있었으며 겨울철 보다는 유기물 분해가 활발한 봄철

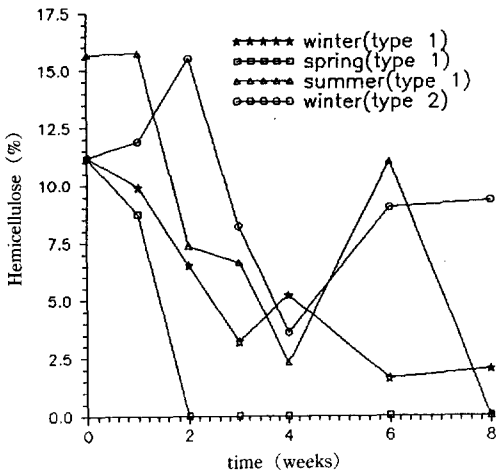


Fig. 10. Hemicellulose content evolution of the compost during the experimental period.

및 여름철에 더욱 크게 감소하였다. 8주 후 Type 1에서 봄철 72.8%, 여름철 56.8%, 겨울철 83.1%, Type 2에서 겨울철 82.6%이었다. 겨울철에는 유기물함량에 별 차이가 없는데 이것은 이미 앞에서 언급한 바와 같이 무기화된 성분들이 과량의 수분과 함께 유실된 결과이며 따라서 소형 퇴비화용기로 퇴비화 할 때 회분 및 유기물함량을 하나의 퇴비숙성도 기준으로 하기에는 문제점이 될 수 있다고 판단되었다.

Fig. 10에서 hemicellulose 함량은 퇴비화기간의 경과에 따라 약간의 차이는 보이나 전반적으로 보아 감소하는 경향을 나타내는 반면 Fig. 11의 cellulose 함량은 증가하였다. 이것으로 hemicellulose는 cellulose 보다 퇴비화에 관여하는 미생물들에 의하여 보다 쉽게 분해되었으며 유기물 분해속도가 빠르면 빠를수록 후반기에 일찍 cellulose 함량이 감소되는 것을 알 수 있었다. 그러나 이러한 경향이 같은 종류의 미생물이 보다 이용하기 쉬운 hemicellulose를 먼저 이용하고 다음에 cellulose를 이용하였기 때문인지 아니면 먼저 hemicellulose를 이용할 수 있는 미생물들이 서식한 후 cellulose를 이용할 수 있는

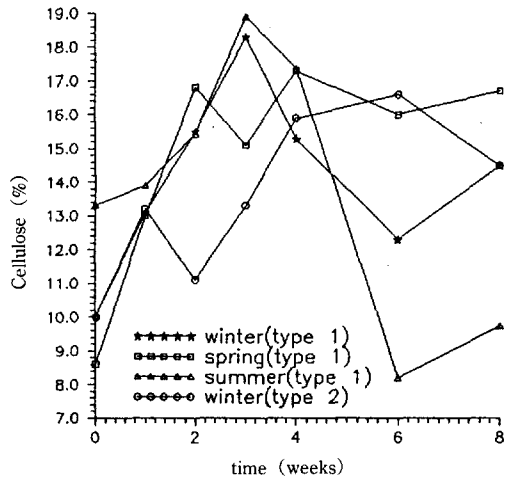


Fig. 11. Cellulose content evolution of the compost during the experimental period.

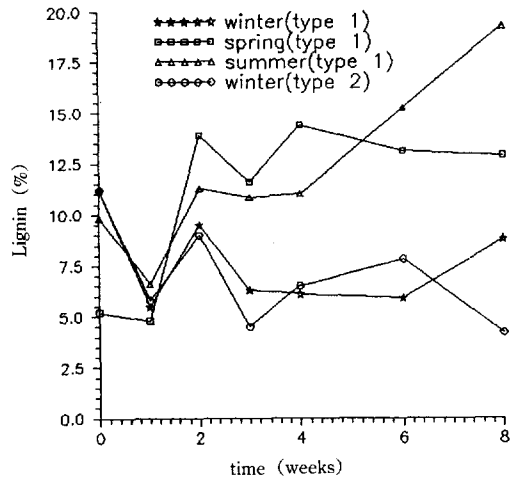


Fig. 12. Lignin content evolution of the compost during the experimental period.

미생물로 미생물상이 바뀜으로서 두 물질의 시간의 차이를 두고 이용된 것인지는 밝힐 수가 없었다. Hemicellulose의 함량이 6주째에 다시 증가한 것은 hemicellulose의 감소율보다 유기물 분해율이 커서 절대량은 감소하였으나 오히려 농도는 증가하였다.

Table 3. Total nitrogen content evolution of the compost during the experimental period (unit : %)

time (weeks)	vessel type season	type 1			type 2
		winter	spring	summer	winter
0		3.4	3.5	4.1	3.4
1		3.8	3.9	4.7	3.4
2		4.1	4.4	5.6	3.3
3		3.5	3.6	4.9	3.1
4		3.4	3.8	4.5	3.1
6		3.7	3.3	5.6	4.1
8		4.8	3.3	4.3	4.4

특히 봄철 2주째에 hemicellulose가 완전히 분해된 것은 계절적인 쓰레기의 특성에 의한 것으로 생각되었다.

Fig. 12의 퇴비화기간의 경과에 따른 리그닌 함량변화를 보면 첫주에 감소한 후 봄철 및 여름철에는 계속 증가하였으나 겨울철에는 두가지 형의 용기 모두 별 변화가 없었다. 그러나 첫주에 리그닌함량의 감소가 분해로 인한 것인지 아니면 원활한 산소 공급으로 리그닌이 용해되어<sup>16)</sup> 수분과 함께 아래로 흘러내려 유실된 것인지의 확인하지 못하였다. 봄철과 여름철의 상대적 함량증가는 유기물 분해가 빨랐기 때문으로 사료되었다. 8주 후 Type 1에서 리그닌함량은 겨울철 8.8%, 봄철 12.9%, 여름철 19.3% , 그리고 Type 2에서는 겨울철에 4.2%였다.

Table 3에서는 퇴비화기간에 따른 총 질소함량의 변화를 나타내었다. 두 용기 모두 질소함량에는 전기간을 통하여 큰 차이가 없었으나 여름철에 다른 계절 보다 함량이 높았다. 이러한 원인은 계절별 쓰레기 중의 질소함량 차이에서 온 것으로 여겨졌다. 또한 퇴비의 질소함량을 분석할 때는 시료 건조시 암모니아성 질소가 거의 유실되기 때문에 반드시 젖은 시료로 분석을 해야 한다는 것을 본 실험결과 알 수 있었다. 질소함량이 3.1-5.6%로 독일의 도시폐기물에서 생산된 퇴비의 최고질소함량 2.1%<sup>17)</sup> 보다 2배 정도 높았는데 이것은 독일의 경우

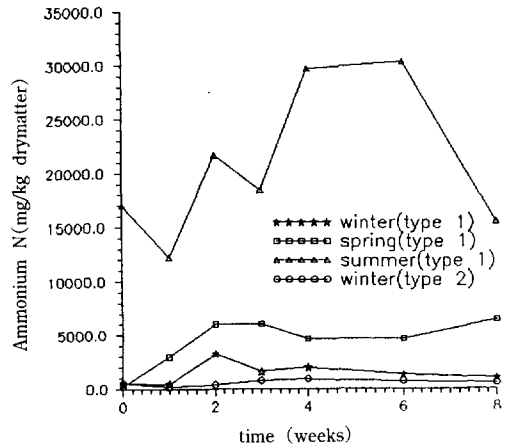


Fig. 13. Ammonium N content evolution of the compost during the experimental period.

종이 등과 같이 질소함량이 낮은 성분들이 많이 함유되어 있는 반면 본 실험에서 사용된 것은 부엽쓰레기만 분리하여 퇴비화되었기 때문에 질소함량이 높았던 것으로 판단되며 두 용기에서 생산된 퇴비의 질소함량 3.1-5.6%는 독일의 부엽쓰레기로 생산된 퇴비의 질소함량 2.2-3.1%<sup>3)</sup> 보다도 높았다. Fig. 13의 암모니움대 질소함량의 변화를 보면 시간적 차이는 있으나 초기에 증가했다가 여름철을 제외하고는 후반에 큰 변화없이 유지되었지만 여름철에는 6주 후에 감소하였다. 이것은 여름철 6주 후에 유

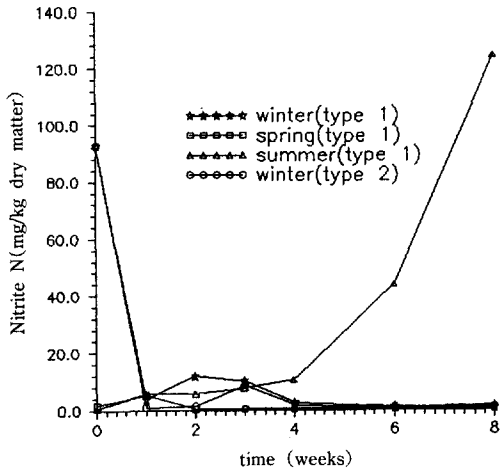


Fig. 14. Nitrite N content evolution of the compost during the experimental period.

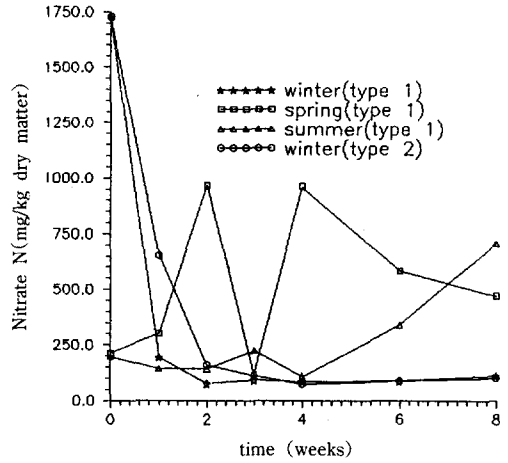


Fig. 15. Nitrate N content evolution of the compost during the experimental period.

Table 4. C/N-ratio evolution of the compost during the experimental period (unit : %)

time (weeks)	vessel type season	type 1			type 2
		winter	spring	summer	winter
0		9	11	8	9
1		8	7	7	9
2		7	6	6	9
3		9	7	6	9
4		9	7	6	9
6		8	8	5	7
8		6	8	5	7

기물 분해가 거의 완료되었기 때문으로 생각되었다. 가장 높은 암모늄태 질소함량은 Type 1에서 겨울철 2주째 3,243mg/kg, 봄철 3주째 6,052mg/kg, 여름철 6주째 30,828mg/kg, Type 2에서는 겨울철 4주째 917mg/kg이었다. Fig. 14 및 15의 아질산태와 질산태 질소 함량변화에서 볼 수 있는 바와 같이 여름철에만 아질산화이 일어났고 질산화는 겨울철을 제외한 봄철 및 여름철에만 일어났다. 여름철에 아질산화가 약 4주부터 진행되게 된 것은 Fig. 6의 퇴비

밀도변화에서 볼 수 있는 바와 같이 이때 이미 유기물 분해가 거의 끝나 산소의 소모도 적고 밀도도 대단히 낮아 퇴비물질 사이에 산소 공급이 다른 계절보다 원활했기 때문으로 사료되었다. 그러나 질산화가 여름철보다는 봄철에 시기적으로 빨리 일어났다.

Table 4는 C/N율을 나타내었는데 모두 시간의 경과에 따라 감소하였다. 그러나 처음과 비교하여 C/N율의 차이가 크지 않았기 때문에 부엌쓰레기를

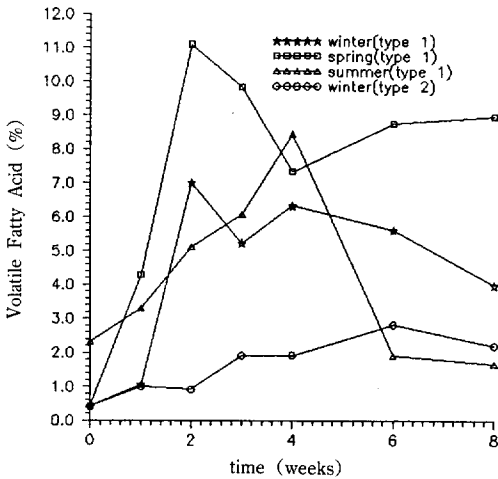


Fig. 16. Volatile fatty acid content evolution of the compost during the experimental period.

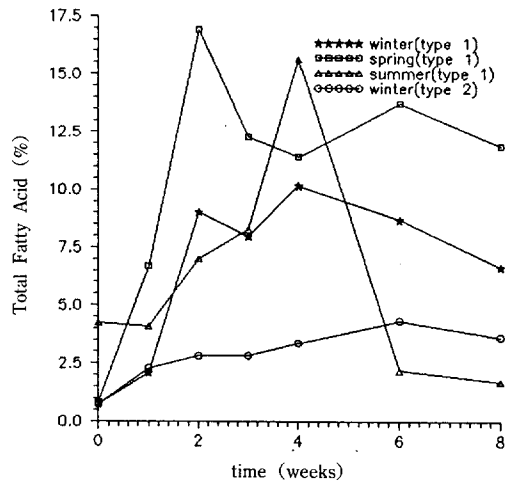


Fig. 18. Total fatty acid content evolution of the compost during the experimental period.

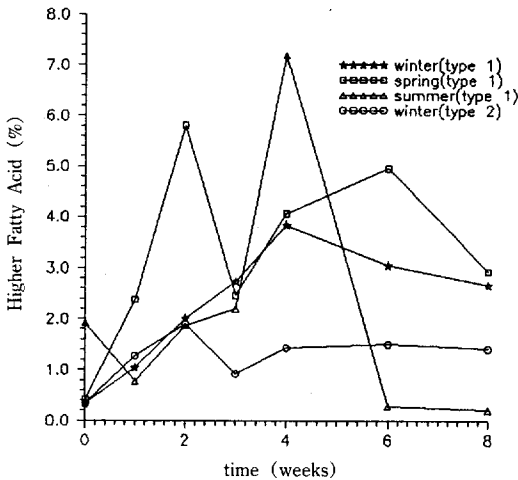


Fig. 17. Higher fatty acid content evolution of the compost during the experimental period.

퇴비화할 때 퇴비의 숙성도 기준<sup>17,18)</sup>으로서는 적합하지 않는 것으로 판단되었다.

Fig. 16에는 퇴비화과정 중 휘발성 유기산함량을 나타내었다. 휘발성 유기산 함량은 초기에 증가했다가 시기적 차이는 있으나 후반에 감소하는 경향을

보였다. Type 2의 겨울철 변화를 보면 6주까지 장기간에 걸쳐 완만하게 증가했다가 그후 감소하였는 반면에 Type 1에서는 겨울철보다 봄철의 함량이 월등히 높았으나 여름철의 함량은 오히려 봄철 및 겨울철 함량보다 낮았다. Fig. 17과 Fig. 18에서 고급유기산 및 총 유기산 함량변화도 휘발성 유기산 함량변화와 비슷한 경향을 보였다. 겨울철에 유기산 함량이 낮은 것은 미생물의 활동이 활발하지 못하여 서서히 증가한 반면에 미생물 활동이 가장 왕성한 여름에 유기산의 함량이 낮은 것은 생성되는 양도 많지만 생성된 유기산의 분해가 빨라서 유기산의 함량이 낮았을 것으로 생각되었다. Type 2의 겨울철 6주째 휘발성 유기산 2.8%, 총 유기산 4.3%, 2주째 고급 유기산 1.9%, Type 1에서는 겨울철 2주째 휘발성 유기산 7.0%, 4주째 고급 유기산 3.8%, 총 유기산 10.1%, 봄철 2주째 휘발성 유기산 11.1%, 총 유기산 16.9%, 고급 유기산 5.8% 그리고 여름철 4주째 휘발성 유기산 8.5%, 4주째 고급 유기산 7.2%, 총 유기산 15.7%로 가장 높았다.

Table 5에서 볼 수 있는 바와 같이 퇴비화시간의

**Table 5. Inorganic compound content evolution of the compost during the experimental period** (unit : %)

vessel type (season)	inorganic compound	time(weeks)						
		0	1	2	3	4	6	8
type 1 (winter)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.5	3.4	4.4	3.2	2.1	1.6	1.8
	K <sub>2</sub> O	1.8	1.8	1.9	1.7	2.3	2.1	2.1
	CaO	3.4	3.8	3.9	3.5	3.0	3.5	3.6
	MgO	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30
type 1 (spring)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.6	2.5	2.7	3.2	2.2	3.3	3.6
	K <sub>2</sub> O	1.7	1.9	2.0	1.7	1.7	1.8	1.6
	CaO	2.9	2.7	3.8	3.6	3.9	4.6	4.6
	MgO	0.35	0.37	0.80	0.40	0.40	0.41	0.41
type 1 (summer)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.9	1.4	1.9	1.6	1.5	2.1	4.0
	K <sub>2</sub> O	2.1	2.3	2.2	2.2	2.0	2.9	2.4
	CaO	4.1	2.4	4.1	3.6	3.6	4.2	2.5
	MgO	0.36	0.44	0.47	0.50	0.49	0.63	0.36
type 2 (winter)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.5	2.3	2.5	1.6	1.8	1.4	1.8
	K <sub>2</sub> O	1.8	2.0	1.7	2.2	2.1	2.1	2.1
	CaO	3.4	3.2	3.8	3.9	3.8	3.4	3.2
	MgO	0.31	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30

**Table 6. CN content evolution of the compost during the experimental period** (unit : mg/kg dry matter)

time (weeks)	vessel type season	type 1			type 2
		winter	spring	summer	winter
0		0.51	0.76	2.11	0.51
1		0.53	0.32	16.54	0.90
2		0.39	1.12	6.19	0.32
3		0.92	0.17	28.89	0.45
4		0.87	0.35	10.48	0.33
6		0.65	0.42	0.74	0.50
8		0.47	0.12	0.11	0.55

경과에 따른 무기성분함량은 외국의 도시폐기물에서 생산된 퇴비<sup>17)</sup>와 비교하여 모두 높은 함량을 나타내었다. 두 용기에서 생산된 퇴비 중의 함량에서와 마찬가지로 계절적으로도 별 차이가 없었고 시

간의 경과에 따라 축적도 되지 않았다. Type 2의 겨울철에 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.4-2.5%, K<sub>2</sub>O 1.7-2.2%, CaO 3.2-3.9%, MgO 0.30-0.32% 그리고 Type 1에서는 겨울철 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.6-4.4%, K<sub>2</sub>O 1.7-2.3%, CaO 3.0-

Table 7. Heavy metal content evolution of the compost during the experimental period.

vessel type (season)	time(weeks)							
	inorganic compound	0	1	2	3	4	6	8
type 1 (winter)	Zn (mg/kg)	130	83	90	56	60	63	118
	Cu ( % )	15	12	13	17	17	14	10
	Cd ( % )	2.8	1.8	2.3	2.0	2.8	2.0	1.0
	Pb ( % )	25	42	20	14	19	35	18
	Cr ( % )	30	11	11	15	14	4	11
	Hg (µg/kg)	47.98	25.40	7.52	1.25	7.19	1.30	5.75
type 1 (spring)	Zn (mg/kg)	64	24	61	75	81	61	95
	Cu ( % )	65	11	12	14	17	17	219
	Cd ( % )	8.3	9.6	14.3	12.5	9.1	9.4	12.8
	Pb ( % )	9	7	10	17	8	15	21
	Cr ( % )	14	16	23	21	26	13	14
	Hg (µg/kg)	17.43	21.52	8.31	25.17	4.46	132.16	34.34
type 1 (summer)	Zn (mg/kg)	24	47	106	97	71	90	101
	Cu ( % )	7	9	17	32	18	20	54
	Cd ( % )	3.0	2.0	3.5	2.0	3.0	2.0	2.0
	Pb ( % )	13	14	29	24	26	23	22
	Cr ( % )	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9
	Hg (µg/kg)	18.55	ND	ND	ND	ND	ND	ND
type 2 (winter)	Zn (mg/kg)	130	47	166	71	79	81	107
	Cu ( % )	15	42	15	12	5	16	18
	Cd ( % )	2.8	1.5	1.5	2.0	0.8	2.0	3.0
	Pb ( % )	25	17	26	8	15	28	35
	Cr ( % )	30	11	12	9	23	4	10
	Hg (µg/kg)	47.98	2.21	11.07	86.10	14.85	3.49	53.20

3.9%, MgO 0.30-0.31%, 붕철 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.6-3.6%, K<sub>2</sub>O 1.6-2.0%, CaO 2.7-4.6%, MgO 0.35-0.80%, 여름철 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.9-4.0%, K<sub>2</sub>O 2.1-2.9%, CaO 2.4-4.2%, MgO 0.36-0.63%였다.

Table 6에는 용출실험을 통하여 분석한 퇴비 중의 CN 함량을 나타낸 것으로 두 용기에서 생산된 퇴비 모두에서 비슷하게 용출됨을 확인할 수 있었으나 여름철에 때때로 높았는데 그 이유와 CN의 출처는 밝혀내지 못하였다. 용기별 계절별 구분없이

함량은 0.11-28.89mg/kg dry matter였다.

Table 7에는 퇴비화시간의 경과에 따른 퇴비 중의 중금속함량을 나타내었다. 용기별, 계절별 구분 없이 생산된 퇴비 중에 모든 종류의 중금속이 함유되어 있었으나 Type 1의 붕철 Cd 함량을 제외하고는 외국의 도시폐기물에서 생산된 퇴비중의 중금속 함량 기준치<sup>3)19)</sup> 이하였다. 이러한 중금속들이 실제 음식물쓰레기 자체에 함유되어 있는 것인지 혹은 다른 쓰레기에서 유래되었는지는 본 실험에 사용된

음식쓰레기를 처음부터 완전히 분리한 것이 아니고 다른 가정쓰레기들과 혼합되어 있는 쓰레기통에서 음식쓰레기를 분리하여 퇴비원료물질로 사용하였기 때문에 밝혀지지 않았다. 또한 Hg는 여름철 퇴비화 원료물질에는 함유되어 있었는데 그 이후로 분석되지 않는 반면 Cr은 초기에는 분석되지도 않았으나 8주째에 분석이 되었는데 이것이 실제 농축된 것인지는 지금까지 무기성분의 농축현상이 없었기 때문에 이러한 원인도 규명이 있어야 할 것으로 생각되었다. 각종 중금속함량은 Zn 24-166mg/kg, Cu 5-219mg/kg, Cd 0.8-14.3mg/kg, Pb 7-42mg/kg, Cr ND-30mg/kg, Hg ND-132.16 µg/kg의 범위였으며 중금속 역시 다른 무기성분들과 마찬가지로 퇴비화가 진행되면서 축적되지는 않았다.

악취 발생도 직접 악취의 단위를 측정하지는 않았지만 개인주택에 두고 사용하더라도 특별히 용기 뚜껑을 열고 코로 냄새를 맡을려고 하지 않는 한 느끼지 못할 정도로 미미한 것으로 확인되었으며 특히 여름철에 용기 주위에 파리들이 거의 없었고 그 외 유해 곤충의 침입도 없었던 점으로 미루어 볼때 본 소형퇴비화용기는 가정단위에서 사용할 수 있을 것으로 생각되었다.

## 요 약

주택용 소형 퇴비화용기에 의한 부엌쓰레기의 퇴비화 가능성을 검토하기 위하여 두가지 용기(Type 1과 Type 2)를 제작하여 시험실 실험을 통하여 조사하였다. 두 용기의 구조는 같으나 차이점은 Type 1은 보온을 하였고 Type 2는 보온을 하지 않았다. 겨울철 실험을 통하여 Type 2는 우리나라의 기후 여건에 사용이 불가능한 것으로 판단되어 봄철 및 여름철 실험에서 제외하였다. 따라서 Type 1에 대한 계절 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 퇴비화기간 중 상승한 최고온도는 봄철 58°C, 여름철 57°C, 겨울철 41°C였다. 따라서 우리나라의 기후조건에서는 반드시 보온이 필요하다는 것이 확

인되었다.

2) 퇴비화원료물질의 무게는 8주 후 평균 62.5% 그리고 부피는 평균 74% 감소하였다.

3) 퇴비층의 밀도는 봄철 0.7kg/ℓ, 여름철 0.8kg/ℓ, 겨울철 1.1kg/ℓ였다.

4) 수분함량은 전 퇴비화기간동안 큰 변동이 없었으며 8주 후 봄철 75.6%, 여름철 76.6%, 겨울철 76.6%였다.

5) pH는 계절에 따라 큰 차이를 보였으며 여름철에 가장 높았고, 겨울철에 가장 낮았다. 8주 후 봄철 6.13, 여름철 8.62, 겨울철 4.75였다.

6) 퇴비화시간의 경과에 따른 회분 및 유기물 함량은 유기물 분해속도가 빠를수록 증감현상이 뚜렷하였고 cellulose 및 lignin은 증가, hemicellulose 함량은 감소하였다.

7) 질소함량은 3.1-5.6%로 높았으며, 특히 여름철에 가장 높았다. 암모늄태 질소는 전반기에 증가했다가 감소하는 경향이였으며 겨울철 2주째 3,243mg/kg, 봄철 3주째 6,052mg/kg, 여름철 6주째 30,828mg/kg으로 가장 높았다. C/N율은 퇴비화시간이 경과함에 따라 감소하였으나 차이는 크지 않았다. 그러나 질산화는 봄 및 여름철에만 일어나고 겨울철에는 거의 일어나지 않았다.

8) 휘발성 및 고급유기산함량은 초기에 증가했다가 계절적으로 시기적 차이는 있으나 감소하였다. 총 유기산의 최고농도는 겨울철 2주째 10.1%, 봄철 2주째 5.8%, 여름철 4주째 15.7%였다.

9) 퇴비의 부속도와 무관하게 각 무기성분함량은 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.9-4.4%, K<sub>2</sub>O 1.6-2.9%, CaO 2.4-4.6%, MgO 0.30-0.80%였다.

10) CN 및 각종 중금속함량도 퇴비화시간에 따라 큰 변화가 없었으며 각 함량범위는 계절 구분없이 CN 0.11-28.89mg/kg, Zn 24-130mg/kg, Cu 5-219mg/kg, Cd 0.8-14.3mg/kg, Pb 7-42mg/kg, Cr ND-30mg/kg, Hg ND-132.16 µg/kg이었다.



## 사 의

이 논문은 한국과학재단의 1992년도 특정기초과제 연구비 지원에 의하여 연구되었으므로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Jeager B. (1981). Abfallwirtschaft - Motivation und Moeglichkeiten, Verlaenerung der Nutzungsdauer von Deponien, Abfallwirtschaft an der TU Berlin, Band 13: 1-5.
2. 오영민, 신석봉 (1986). 수질관리, 녹원출판사.
3. Jaeger, B. (1986). Dezentrale Kompostierung von Kuechen- und Gartenabfaellen in dichtbesiedelten Wohngebieten.
4. Offhaus, E. (1982). Aspect of domestic waste treatment in the Federal Republic of Germany, in Karl J. thome-Kozmiensky, Recycling International, E. Freitag-Verlag fuer Umwelttechnik: 43-46.
5. Alstin, F. (1983). Appendix to Fibertec Manual (Firmendruckschrift): 2-9.
6. VDI 2461. (1974). Messen der Ammoniak Konzentration, Indophenol-Verfahren.
7. 수질오염 폐기물 공정시험방법. (1992). 도서출판 동화기술.
8. Schmidt. L. (1954). Die Untersuchung von Duengermitteln, Methodenbuch II, Neuman Verlag, Radebeul und Berlin.
9. 농업기술연구소 농촌진흥청. (1978). 토양화학 분석법.
10. 허종수. (1984). 제지슬러지의 사용이 논 토양의 화학성과 수도생육에 미치는 영향. 박사학위논문.
11. 서정윤. (1988). 폐기물의 퇴비화 과정중 물질 변화, 1. 탄소화합물 변화. 한국환경농학회지 제 7권 제2호 : 136-145.
12. Gottschall, R. (1985). Kompostierung, Verlag C. F. Mueller Karlsruhe.
13. 황응주. (1993). 주방폐기물 퇴비화에 Bulking Agent의 효과 연구, 석사학위논문.
14. Golueke, C. G. (1975). Composting, A study of the process and its principles, Rodale Press, Inc., Emmaus.
15. 서정윤. (1993). 소형 퇴비화용기에 의한 부엌쓰레기의 겨울철 퇴비화 실험, 창원대학교 환경문제연구소, 환경연구논문집 제2집 : 117-128.
16. Giovannozzi-Sermanni, G. (1987). Lignin Metabolism in the Soils ammended with Compost, Compost: Production, Quality and Use, Elseviser Applied Science, London and New York: 101-197.
17. Merkblatt 10. (1984). Qualitaetskriterien und Anwendungsempfehlungen fuer Kompost aus Muell und Muel/Klaerschlam, in G. Hoesel, W. Schenkel and H. Schnurer, Muell-Handbuch, Erich Schmidt Verlag, pp. KZ 6856.
18. Seo, J. Y. (1986). Bestimmung des Kohlenstoff-Stickstoff-Verhaeltnisses in Hausmuellkorposten, Diplomarbeit.
19. 남궁완, 최정영. (1993). 유기성폐기물 자원화기술. 유기성폐기물 자원 제1권 제1호 : 33-47.