

## 소형용기에 의한 퇴비화에 있어서 퇴비화 가능한 가정 폐기물의 분쇄 효과

서정윤\* · 한종필 · 황면훈

창원대학교 공과대학 환경공학과

(2001년 4월 10일 접수, 2001년 7월 9일 수리)

### Effect of Ground Compostable Household Wastes on a Small Bin Composting

Jeoung-Yoon Seo\*, Jong-Phil Han and Myun-Hoon Hwang (Dept. of Environmental Engineering, College of Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea)

**Abstract** : Compostable household wastes(mainly food wastes), after waste papers and cardboard being removed, were daily fed into small bins and mixed thoroughly while the air was supplied into the bin. Three small bins were employed: in case I, only recycled compost was composted, after being once fed at the beginning of composting, in case II, compostable household wastes(less than 50 mm) torn roughly by the hands with recycled compost, and in case III, compostable household wastes(less than 2 mm) ground by a kitchen mixer for vegetables with recycled compost. The straight-line was maintained between the wet or the dry residual mass of composting mixture versus composting time date(the coefficient of determination  $R^2 \geq 0.98$  for the wet and  $R^2 \geq 0.90$  for the dry). The decomposition rate of each composted material was estimated during composting. The total weight reduction rate after 30 days was 67.86% and 66.14% for case II and III, respectively. For case II, the daily weight reduction 6.82% and the daily decomposition rate 8.81% with the composting mixture, but the daily weight reduction rate was 56.43% and the daily decomposition rate 19.26% with only compostable household wastes. For case III, the daily reduction rate was 6.93% and the daily decomposition rate 7.70% with the composting mixture, but the daily weight reduction rate was 53.30% and the daily decomposition rate 22.95% with only compostable household wastes. The physicochemical characteristics of composting mixture did not show much difference between case II and III as was expected.

**Key words** : ground effect, composting, compostable household wastes, small bin

## 서론

여러 가지 인자들(수분, 온도, C/N 비율, 영양물질, 산소 공급 등)이 퇴비화 속도에 영향을 미치지만 퇴비화 원료물질 입자의 크기도 퇴비화 속도에 영향을 미치는 한 인자이다<sup>1-3)</sup>. Kim<sup>1)</sup>에 의하여 우리 나라 도시 고품 폐기물을 기계적인 방식으로 퇴비화할 때 가장 효율적인 입자 크기는 2 cm이고 Gray 등<sup>2)</sup>에 의하면 퇴비화 원료물질의 입자 크기는 1.3~5.0 cm가 적절하나 입자 크기의 하한의 범위는 강제적으로 공기를 공급하거나 적절하게 교반할 때 그리고 상한의 범위는 더미로 쌓아서 퇴비화할 때 적절하다고 하였다. 또한 Golueke<sup>3)</sup>는 도시폐기물을 퇴비화할 때 입자의 크기가 크면 클수록 분해율은 작아지며 2.54~5.08 cm의 크기가 적당하다고 하였다.

그러나 가정에서 발생하는 퇴비화 가능한 폐기물의 입자 크기

는 다양하게 발생되며 특별한 경우를 제외하고는 입자의 크기를 일정하게 분쇄하는 것이 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 가정에서 발생하는 퇴비화 가능한 폐기물 중 종이류 및 골판지 등을 제외한 것을 퇴비화용기에 투입하기 전에 주방용 분쇄기로 잘게 분쇄한 것과 가정에서 비용을 들이지 않고 간단하게 실행할 수 있는 방법인 손으로 대충 찢은 것으로 퇴비화하면서 분해율과 생산된 퇴비의 이화학적 특성을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 퇴비화물질

가정에서 발생하는 퇴비화 가능한 폐기물 중 종이류와 골판지를 제외한 나머지(주로 음식물 쓰레기)를 퇴비화물질로 사용하였다. Table 1에 퇴비화물질의 이화학적 특성을 나타내었다. pH는 4.67~5.13, 수분 77.42~92.16%, 회분 7.84~20.03%, Kjeldahl 질소 3.13~4.40%,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  79.53~755.95 mg/kg,  $\text{NO}_3^--\text{N}$  8.64~426.52 mg/kg,  $\text{NO}_2^--\text{N}$  2.45~16.35 mg/kg,  $\text{K}_2\text{O}$  0.08~0.15%,  $\text{CaO}$  0.94~2.37%,  $\text{MgO}$  0.02~0.07%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.15~0.73%,  $\text{NaCl}$  0.62~1.38%,

\*연락처:

Tel: +82-55-279-7562 Fax: +82-55-281-3011

E-mail: syseo@sar.m.changwon.ac.kr

**Table 1. Analytical characteristics of compostable household wastes used in this experiment, after the waste papers and the cardboard were removed. All results except for moisture content are on a dry matter basis. Throughout the experiment the 5 samples were taken**

Items	Minimum	Maximum	Average
Moisture(%)	77.42	92.16	85.75
Organic matter(%)	79.97	89.04	86.74
pH	4.67	5.13	4.89
Ash(%)	7.84	20.03	13.26
Kjeldahl-N(%)	3.13	4.40	3.77
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/kg)	79.53	755.95	277.23
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N(mg/kg)	8.64	426.52	187.60
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N(mg/kg)	2.45	16.35	12.54
K <sub>2</sub> O (%)	0.08	0.15	0.11
CaO(%)	0.94	2.37	1.37
MgO(%)	0.02	0.07	0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.15	0.73	0.42
NaCl(%)	0.62	1.38	1.37
Zn(mg/kg)	25.21	55.23	35.46
Cr(mg/kg)	2.30	70.11	18.40
Cd(mg/kg)	ND	0.65	0.13
Pb(mg/kg)	ND	8.63	3.83
Cu(mg/kg)	6.12	8.85	7.24
As(mg/kg)	ND	0.06	0.03
Hg(mg/kg)	ND	ND	ND

Zn 25.21~55.23 mg/kg, Cr 2.30~70.11 mg/kg, Cd ND~0.65 mg/kg, Pb ND~8.63 mg/kg, Cu 6.12~8.85 mg/kg, As ND~0.06 mg/kg이었으며 Hg는 분석 한계이하이었다(농도는 건조물질 중 함량).

Table 2에는 첨가제로 사용된 퇴비의 이화학적 특성을 나타내었다. pH 5.04, 수분 45.75%, Kjeldahl 질소 5.28%, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 125.45 mg/kg, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 1.02 mg/kg, K<sub>2</sub>O 0.13%, MgO 0.03%, CaO 2.09%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.95%, NaCl 4.21%, Zn 43.56 mg/kg, Cr 30.36 mg/kg, Cd 0.12 mg/kg, Pb 1.35 mg/kg, Cu 22.46 mg/kg, 그리고 As와 Hg는 분석 한계 이하이었다.

### 실험방법

본 실험에 사용된 소형 퇴비화용기는 Fig. 1과 2와 같으며 용기의 아래 부분에 부착된 전열기를 통하여 퇴비화 물질의 온도를 일정하게 유지하였다. 따라서 용기 내에서 퇴비화물질 중의 수분이 증발되었다. 증발된 수증기는 뚜껑의 안쪽 벽에 응축되어 뚜껑의 아래에 설치된 응축 수 수집 흡을 통하여 용기 밖으로 배출되도록 하여 용기 내 퇴비화물질의 적정 수분을 유지하였다.

**Table 2. Analytical characteristics of recycled compost used for composting**

Items	Moisture (%)	Organic matter (%)	pH	Ash(%)	Kjeldahl-N (%)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/kg)
Concentration	46.75	94.86	5.04	5.14	5.28	336.25
Items	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	NO <sub>2</sub> -N (mg/kg)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO(%)	MgO(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
Concentration	125.45	1.02	0.13	2.09	0.03	0.95
Items	NaCl(%)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Concentration	4.21	43.56	30.36	0.12	1.35	22.46
Items	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)				
Concentration	ND	ND				

※ on a dry matter basis, ND : not detected.

산소는 퇴비화용기 내의 공기를 소형 송풍기에 의하여 Biofilter로 이송될 때 형성되는 부압에 의하여 퇴비화용기 내로 유입되는 공기에 의하여 공급되었다. 한 시간마다 2분 동안 퇴비화물질이 교반되었고 교반이 시작되기 2분전에 소형 송풍기가 가동을 시작하여 10분 동안 가동되도록 하였다. 송풍기는 분 당 5 L의 공기를 Biofilter로 보내어 그 곳에서 악취를 제거한 후 외부로 배출시켰다. 퇴비화용기가 이상과 같이 가동되면 퇴비화물질의 수분함량은 55~65% 그리고 온도는 47~50℃로 유지되었다.

본 실험에서는 3개의 퇴비화용기를 사용하였다. 먼저 각 퇴비화용기에는 가정에서 발생되는 퇴비화 가능한 폐기물에서 생산된 퇴비 습윤 기준 5 kg을 퇴비화 초기에 투입하여 수분함량을 60%로 조정하였다. 한 퇴비화용기는 초기에 투입된 재활용 퇴비 외에 아무 것도 투입하지 않고 재활용 퇴비 자체의 분해 율을 조사하였다(Case I). 매일 수분이 응축되어 배출되는 양만큼 다시 보충해 주면서 수분함량을 일정하여 유지하였다. 두 번째 퇴비화용기에는 퇴비화 초기에 투입된 습윤 기준 재활용 퇴비 5 kg 외에 손으로 대충 찢은(50 mm 이하) 퇴비화 가능한 가정 폐기물 습윤 기준 1 kg을 매일 투입하면서 퇴비화하였다(Case II). 세 번째 퇴비화용기에는 퇴비화 초기에 투입된 습윤 기준 퇴비 5 kg 외에 부엌용 야채 분쇄기(브라운 핸드블렌더 MR 500 MCA)에서 거의 죽 상태로 분쇄된(2 mm 이하) 퇴비화 가능한 가정 폐기물 습윤 기준 1 kg을 매일 투입하면서 퇴비화하였다(Case III).

### 분석 및 계산 방법

매일 퇴비화 가능한 가정 폐기물을 투입하기 전과 후에 퇴비화물질의 무게와 수분함량을 측정하여 각각의 분해 율을 계산하였다. 퇴비화과정 중 퇴비물질의 이화학적 특성을 분석하기 위하여 일정 양의 시료를 취하여 쉽게 변할 수 있는 성분은 습윤 시료를

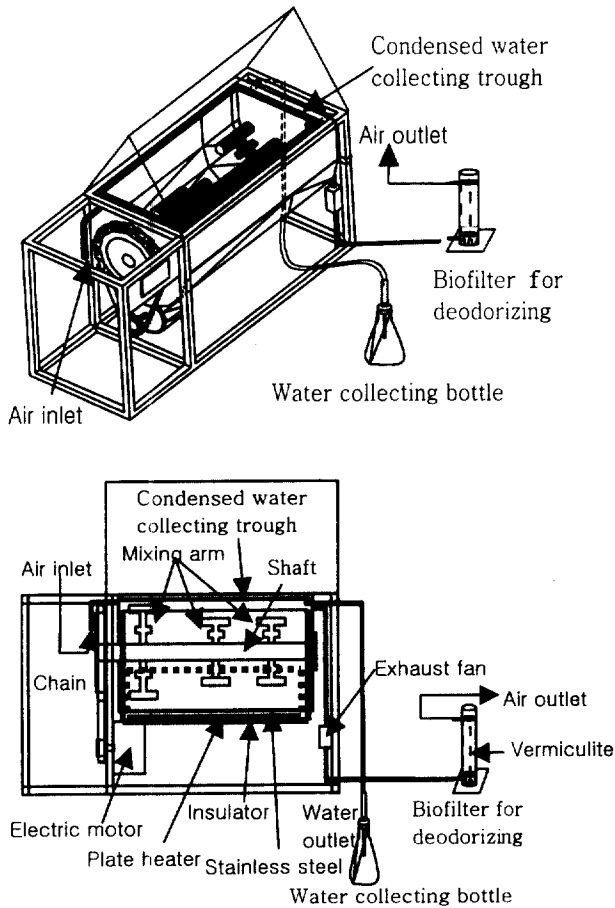


Fig. 1. Schematic diagram and cross sectional view of small composting bin.

사용하여 함량 분석을 실시하고 나머지 성분은 105℃에서 건조한 후 1 mm 이하의 크기로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다. 모든 이화학적 특성 분석은 서와주의 방법에 따라 실시하였다<sup>9)</sup>. 하루 동안 무게 감소율은 다음과 같이 계산하였다 :

Case I의 경우 하루 총 무게 감소율(%)

$$= \frac{M_{i1} - M_{f1}}{M_{i1}} \times 100 \quad \text{----- (1)}$$

- $M_{i1}$  : Case II와 III의 경우 매일 퇴비화 가능한 가정 폐기물 투입 직후 Case I의 퇴비화용기 내 퇴비화물질의 총 무게
- $M_{f1}$  : Case I의 경우 하루 퇴비화한 후 퇴비화물질의 총 무게

Case II 및 III의 하루 총 무게 감소율도 식 (1)과 같이 계산하였다.

Case II의 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만의 하루 무게 감소율은 다음과 같이 계산하였다.

먼저 Case I의 경우에서 첨가제로 투입된 재활용 퇴비의 퇴비화 초기 및 하루 후 건조 물질의 함량을 식 (2)와 (3)과 같이 계산하였다.

$$MC_{i1} = M_{i1} (1 - W_{i1}) \quad \text{----- (2)}$$

$MC_{i1}$  : Case I 경우 하루의 퇴비화 초기 첨가제로 투입된 재활용 퇴비의 건조물질 양

$W_{i1}$  : Case I 경우 하루의 퇴비화 초기 첨가제로 투입된 재활용 퇴비의 수분함량 비율

$$MC_{f1} = M_{f1} (1 - W_{f1}) \quad \text{----- (3)}$$

$MC_{f1}$  : Case I 경우 퇴비화 하루 후 첨가제로 투입된 재활용 퇴비의 건조물질의 양

$W_{f1}$  : Case I 경우 퇴비화 하루 후 첨가제로 투입된 재활용 퇴비의 수분함량 비율

식 (2)에서 얻어진 건조물질 양으로부터 Case II 경우 퇴비화 가능한 가정 폐기물 1 kg을 투입한 직후 전체 퇴비화물질 수분함량에서의 첨가제로 투입된 재활용 퇴비만의 습윤 상태 무게 ( $MCW_{iII}$ )를 다음 식 (4)와 같이 계산하였다.

$$MCW_{iII} = \frac{MC_{i1}}{1 - W_{i1}} \quad \text{----- (4)}$$

$MCW_{iII}$  : Case II 경우 하루의 퇴비화 초기 첨가제로 투입된 재활용 퇴비만으로 습윤 상태 무게

$W_{iII}$  : Case II 경우 퇴비화 가능한 가정 폐기물 1 kg을 투입한 직후 퇴비화용기 내 전체 퇴비화물질의 수분함량 비율

식 (3)으로부터 얻어진 건조물질의 양으로부터 Case II 경우 퇴비화 하루 후 전체 퇴비화물질 수분함량에서의 첨가제로 투입된 재활용 퇴비만으로 습윤 상태 무게( $MCW_{fII}$ )를 다음 식 (5)와 같이 계산하였다.

$$MCW_{fII} = \frac{MC_{f1}}{1 - W_{f1}} \quad \text{----- (5)}$$

$MCW_{fII}$  : Case II 경우 퇴비화 하루 후 전체 퇴비화 물질 수분함량에서의 첨가제로 투입된 재활용 퇴비만으로 습윤 상태 무게

$W_{fII}$  : Case II 경우 퇴비화 하루 후 전체 퇴비화물질의 수분함량 비율

Case II 경우 퇴비화 가능한 가정 폐기물 1 kg 투입 직후 퇴비화용기 내 퇴비화 가능한 가정 폐기물만의 습윤 상태 무게( $MWH_{iII}$ )는 식 (4)를 이용하여 다음 식 (6)과 같이 계산하였다.

$$MWH_{iII} = M_{iII} - \frac{MCW_{iII}}{(1 - W_{iII})} \quad \text{----- (6)}$$

$MWH_{in}$  : Case II 경우 퇴비화 가능한 가정 폐기물 1 kg 투입 직후 퇴비화용기 내 퇴비화 가능한 가정 폐기물만의 습윤 상태 무게

$W_{in}$  : Case II 경우 퇴비화 가능한 가정 폐기물 1 kg 투입 직후 퇴비화용기 내 전체 퇴비화 물질의 수분 함량

Case II의 경우 퇴비화 가능한 가정 폐기물 1kg 투입하여 하루 퇴비화 한 후 퇴비화 가능한 폐기물만의 습윤 상태 무게( $MWH_{in}$ )는 식 (5)를 이용하여 다음 식 (7)과 같이 계산하였다.

$$MWH_{in} = M_{in} - MCW_{in} = M_{in} - \frac{MC_{i1}}{(1 - W_{in})} \quad (7)$$

$MWH_{in}$  : Case II 경우 퇴비화 가능한 폐기물 1 kg 투입하여 하루 퇴비화한 후 퇴비화 가능한 폐기물만의 습윤 상태 무게

$M_{in}$  : Case II 경우 퇴비화 하루 후 전체 퇴비화물질의 수분 분율

따라서 Case II 경우 퇴비화 가능한 가정 폐기물만의 하루 무게 감소율(%)은 식 (6)과 (7) 이용하여 다음 식 (8)과 같이 계산하였다.

$$\begin{aligned} & \text{Case II 경우 퇴비화 가능한 폐기물만의 하루 무게 감소율(\%)} \\ &= \frac{(MWH_{in} - MWH_{in})}{MWH_{in}} \times 100 \\ &= \frac{(M_{in} - \frac{MC_{i1}}{1 - W_{in}}) - (M_{in} - \frac{MC_{i1}}{1 - W_{in}})}{M_{in} - \frac{MC_{i1}}{1 - W_{in}}} \times 100 \quad (8) \end{aligned}$$

이상과 같은 방법으로 Case III의 경우도 퇴비화 가능한 가정 폐기물만의 하루 무게 감소율을 계산하였다.

각 퇴비화물질의 하루 분해율은 다음과 같이 계산하였다.

Case I 경우 첨가제로 사용된 재활용 퇴비만의 하루 분해율(%)

$$= \frac{M_{i1} \cdot W_{i1} - M_{f1} \cdot W_{f1}}{M_{i1} \cdot W_{i1}} \times 100 \quad (9)$$

Case II와 III의 경우도 Case I과 같은 방법으로 하루 총 퇴비화물질의 분해율(%)을 계산하였다.

Case II 경우 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만의 하루 분해율은 식 (6)과 (7)을 이용하여 다음 식 (10)과 같이 계산하였다.

Case II 경우 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만의 하루 분해율(%)

$$= \frac{MWH_{in} \cdot (1 - W_{in}) - MWH_{in} \cdot (1 - W_{in})}{MWH_{in} \cdot (1 - W_{in})} \times 100 \quad (10)$$

Case III의 경우도 Case II와 같은 방법으로 계산하였다.

## 결과 및 고찰

퇴비화가 진행됨에 따라 퇴비화물질 중 유기물들이 미생물들에 의하여 분해되고 또한 수분도 증발되기 때문에 퇴비화물질의 전체적인 무게는 점점 감소한다. Fig. 2에는 각 퇴비화용기에 투입된 퇴비화물질의 종류에 따라 습윤 상태의 잔류 양의 총 무게 변화를 나타내었다. 이들의 총 무게 변화에 대한 회귀직선식은 다음과 같다 :

$$Y_{wet} = -62.10x + 4,914.1(R^2=0.949) : \text{Case I}$$

$$Y_{wet} = 240.87x + 5,669.6(R^2=0.977) : \text{Case II}$$

$$Y_{wet} = 241.81x + 5,536.2(R^2=0.981) : \text{Case III}$$

여기서  $Y_{wet}$ 는 퇴비화물질의 습윤 상태 누적 잔류 양(g)이고 그리고  $x$ 는 퇴비화 기간(일)이다. 세 경우 모두  $R^2$  값이 0.949 이상으로 대단히 커 습윤 상태의 잔류 양 총 무게를 상기 식들에 의하여 잘 예측할 수 있었다. Case I의 경우는 퇴비화 초기 한번만 재활용 퇴비를 투입하였기 때문에 퇴비화가 진행되면서 유기물질들이 분해되어 습윤 상태 잔류 양의 총 무게가 계속적으로 감소하였다. Case II 및 III의 경우 회귀직선식의 기울기가 비슷하여 습윤 상태 잔류 양의 총 무게 변화에 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물의 분해 영향이 별로 없음을 알 수 있었다.

Fig. 3에는 매일 주방용 야채 분쇄기로 분쇄한 습윤 상태의 퇴비화 가능한 가정 폐기물과 대충 손으로 찢은 습윤 상태의 퇴비화 가능한 가정 폐기물 1 kg을 첨가하면서 퇴비화과정 중 각 퇴비화물질의 건조물질 잔류 양을 나타내었다. Case I의 경우 초기에 한번 재활용 퇴비만을 첨가한 것 외에 추가로 투입되지 않았기 때문에 퇴비화 미생물들에 의한 분해로 계속 감소하였다. Case II 및 III에서는 미생물들에 의하여 분해되는 양보다 매일 첨가되는 폐기물에 의하여 공급되는 물질 양이 많아 건조물질의

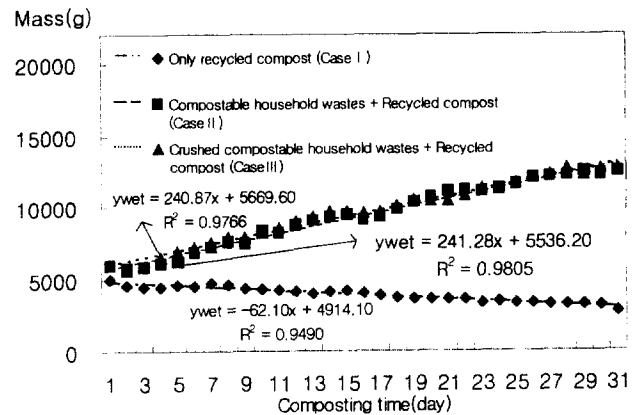


Fig. 2 Evolution of cumulative wet residual mass under various composting conditions during composting.

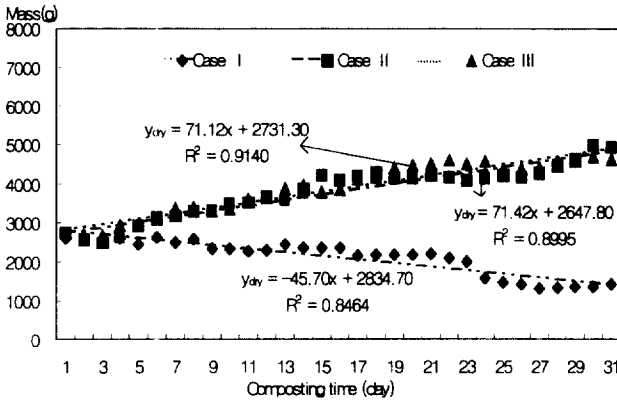


Fig. 3. Evolution of cumulative dry residual mass under various composting conditions during composting.

잔류 양은 계속 증가하였다. 각 회귀직선식은 다음과 같다 :

$$Y_{dry} = -45.696x + 2,834.7(R^2=0.8464) : \text{Case I}$$

$$Y_{dry} = 71.117x + 2,647.8(R^2=0.8995) : \text{Case II}$$

$$Y_{dry} = 71.117x + 2,731.3(R^2=0.914) : \text{Case III}$$

여기서  $Y_{dry}$ 는 건조 퇴비화물질의 누적 양(g) 그리고  $x$ 는 퇴비화 기간(일)이다. 퇴비화물질의 건조물질의 잔류 양 회귀직선식도  $R^2$  값이 0.8464 이상으로 상기 식들에 의하여 건조물질의 잔류량을 잘 예측할 수 있었다. 건조물질의 잔류 양 변화에서도 분쇄기로 분쇄하였을 때와 하지 않았을 때의 차이가 별로 없음을 확인할 수 있었다. Fig. 2의 퇴비화물질 습윤 상태 잔류 양의 회귀직선식들의  $R^2$  값들과 비교하면 건조물질의 잔류 양에 대한 회귀직선들의  $R^2$  값이 작았다. 이러한 이유는 건조물질의 잔류 양은 퇴비화물질의 습윤 상태 잔류 양 무게와 시료의 대표성이 있는 수분함량으로부터 계산되어야 하나 퇴비화물질의 수분함량을 대표할 수 있는 시료의 채취가 대단히 어렵고 그 결과 대표성이 부족한 수분함량으로 건조물질의 잔류 양이 계산되었기 때문으로 생각된다. 실제로 소형 퇴비화 용기에서 퇴비화할 때 퇴비화물질의 양도 적고 퇴비화물질의 입자 크기도 다양하여 대표성이 있는 시료의 채취가 대단히 어려운 실정이다<sup>9)</sup>.

Fig. 4와 5에는 퇴비화물질 중 퇴비화 초기에 첨가제로 투입된 재활용 퇴비의 양을 제외하고 매일 퇴비화용기에 투입된 퇴비화 가능한 퇴비화물질만의 습윤 및 건조 상태 잔류 양의 변화를 나타내었다. 이들에서도 퇴비화 가능한 가정 폐기물을 분쇄하였을 때(Case III)와 분쇄하지 않았을 때(Case II)의 차이가 거의 없음을 알 수 있었다. 이상의 실험 결과들에서 가정에서 발생하는 퇴비화 가능한 폐기물들은 그 크기가 클 때는 손으로 대충 찢어 퇴비화용기에 투입하여 퇴비화하여도 주방용 야채 분쇄기로 분쇄하여 퇴비화할 때와 거의 비슷한 분해속도를 유지할 수 있음이 확인되었다. 퇴비화 14일과 19일째는 폐기물을 투입하지 않았으므로 퇴비화 기간 30일 동안 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물의 총 습윤 양은 28 kg이었다. 30일 후 투입된 퇴비화 가능한 가정

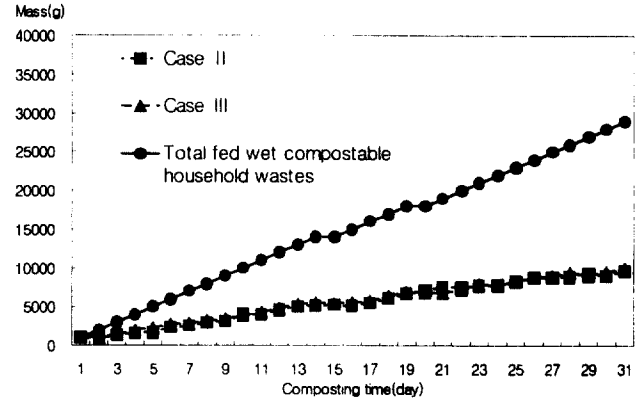


Fig. 4. Evolution of cumulative wet residual mass of only daily fed compostable household wastes under various composting conditions during composting.

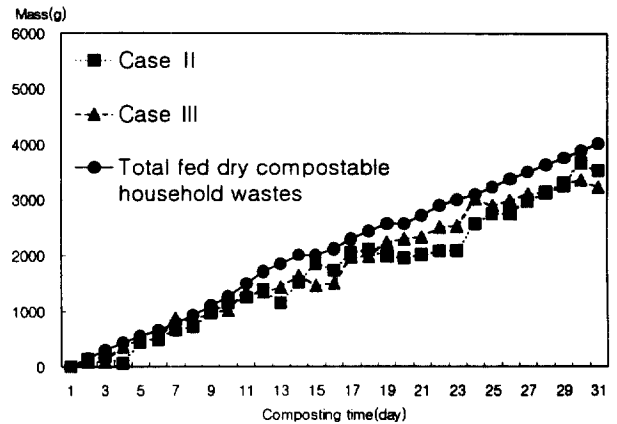


Fig. 5. Evolution of cumulative dry residual mass of only daily fed compostable household wastes under various composting conditions during composting.

폐기물의 누적 잔류 습윤 양은 손으로 대충 찢었을 경우 9.05 kg 그리고 주방용 야채 분쇄기로 분쇄하였을 경우 9.48 kg이었다. 따라서 30일 후 투입된 퇴비화 가능한 폐기물의 무게 감소율은 손으로 대충 찢었을 경우 67.68% 그리고 분쇄기로 분쇄하였을 경우 66.14%이었다.

Table 3에는 퇴비화물질과 계산방법에 따른 하루 동안의 분해율과 무게 감소율을 나타내었다. 첨가제인 재활용 퇴비만의 하루 동안 무게 감소율은 20.17% 그리고 분해율은 19.64%로 큰 차이가 없었다. 그 이유는 우연하게도 첨가제인 재활용 퇴비의 건조 무게에 대한 수분의 비율과 하루 동안에 분해된 양에 대한 배출된 수분의 비율이 거의 비슷하였기 때문이었다. 그러나 퇴비화 가능한 가정 폐기물을 투입하였을 경우 총 무게 감소율과 분해율은 큰 차이를 보였다. 퇴비화 가능한 가정 폐기물을 첨가제인 재활용 퇴비와 함께 퇴비화하였을 때 Case II 경우 혼합물질의 총 무게 감소는 6.82%, 총 분해율은 8.81%이었지만 첨가제인 재활용 퇴비를 제외한 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만을 기준으

로 계산하였을 때 무게 감소율을 56.43% 그리고 분해율은 19.26%이었다. Case III의 경우 퇴비화물질의 총 무게 감소율은 6.93% 그리고 총 분해율은 7.70%이었으나 첨가제인 재활용 퇴비를 제외한 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만을 기준으로 계산하였을 때 무게 감소율은 53.30% 그리고 분해율은 22.95%이었다. 무게 감소율이 분해율보다 큰 것은 증발·배출된 수분의 양이 생물학적으로 분해된 양보다 대단히 많다는 것을 의미한다<sup>4)</sup>. 첨가제인 재활용 퇴비와 퇴비화 가능한 가정 폐기물을 함께 퇴비화한 경우 전체 퇴비화물질의 무게 감소보다 전체 퇴비화물질의 분해율이 높았다. 이러한 이유는 전체 퇴비화물질에 대한 수분의 감소 비율보다 유기물의 분해에 의하여 감소되는 비율이 크다는 것을 의미한다. 그러나 매일 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만을 기준으로 계산하는 경우 무게의 감소율이 분해율보다 대단히 높다. 이것은 전체 퇴비화물질에 대한 것과는 반대로 매일 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만에 대한 분해에 의하여 감소되는 비율보다 수분의 감소에 의한 감소되는 비율이 크다는 것을 의미한다.

분해율에서는 매일 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만을 기준으로 하였을 경우 분쇄한 경우에 약간 높았다. 그러나 Case II와 III의 경우 퇴비화물질 전체를 기준으로 하였을 경우 오히려 Case I의 경우보다 대단히 낮았다. 이것은 Case I의 경우에는 퇴비화에 관여하는 미생물들이 첨가제인 재활용 퇴비 이외에는 이용할 수 없기 때문에 이들을 활용하여야 하지만 Case II와 III의 경우는 이용하기 어려운 첨가제인 재활용 퇴비보다는 이용하기 용이한 매일 투입되는 퇴비화 가능한 가정 폐기물을 이용함으로써 매일 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만을 기준으로 할 경

우 분해율이 높지만 전체 퇴비화물질을 기준으로 할 경우 분해율이 낮아지게 된다. 이것은 서 등<sup>5)</sup>의 결과와도 일치된다. Case II와 III의 경우 전체 퇴비화물질에 대한 분해율은 분쇄하였을 경우 1.11% 낮은 반면에 매일 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만을 기준으로 하였을 경우에는 분쇄하였을 경우 3.69% 높았다. 이러한 결과로부터 퇴비화 가능한 가정 폐기물의 분쇄는 표면적을 증가시키는 등 퇴비화에 관여하는 미생물들에게 보다 좋은 환경을 제공할 수 있을 것으로 사료된다<sup>1,2)</sup>.

서 등이 첨가제를 사용하지 않고 퇴비화 가능한 습윤 상태 가정 폐기물만 매일 1 kg씩 투입하면서 20일 동안 퇴비화하였을 때 20일 후 분해율은 44%<sup>6)</sup>, 첨가제로 질석을 첨가하였을 때 분해율은 50%<sup>4)</sup>로 보고하였다. 본 연구에서는 손으로 대충 찢어 투입하였을 때 20일 후 분해율은 24% 그리고 분쇄하였을 때 14%로 모두 낮았다. 그러나 이들은 실험한 시기가 다르기 때문에 조사한 폐기물의 성분 조성도 다를 수 있어 단순한 비교를 하는 것은 어려움이 있을 것으로 생각된다. 또한 앞에서 하루의 분해율에서는 분쇄한 경우(Case III)가 분쇄하지 않았을 경우(Case II)보다 높았음에도 불구하고 20일 후 분해율은 오히려 분쇄하였을 경우가 분쇄하지 않았을 경우보다 낮았다. 이것은 하루 분해율은 퇴비화 전 기간을 평균 한 값이고 20일 후 분해율은 하나의 기간 동안의 분해율이며 20일 째의 분쇄하였을 때의 분해율이 분쇄하지 않았을 때 분해율보다 낮았기 때문이었다.

Table 4에는 Case I, II 및 III의 경우 퇴비화 기간동안 퇴비화물질의 이·화학적 성분변화를 나타내었으며 모든 성분의 함량은 건조 물질 기준으로 계산되었다. Case II와 III의 경우 첨가제로 사용된 재활용 퇴비와 매일 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기

Table 3. Daily weight reduction and decomposition rates under each composting condition

Mass condition	Composting condition	Calculated composting material	Arithmetical mean (%)	Standard deviation (%)
Weight reduction (wet weight basis)	Only recycled compost (Case I)	Only recycled compost	20.17	21.32
		Total mass	6.82	2.56
	Compostable household wastes + Recycled compost (Case II)	Only compostable household wastes	56.43	8.28
		Total mass	6.93	2.67
	Crushed compostable household wastes + Recycled compost (Case III)	Only compostable household wastes	53.30	11.21
		Total mass	7.70	2.67
Decomposition (dry weight basis)	Case I	Only recycled compost	19.64	7.39
		Total mass	8.81	9.38
	Case II	Only compostable household wastes	19.26	15.13
		Total mass	7.70	8.36
	Case III	Only compostable household wastes	22.95	17.71
		Total mass	7.70	8.36

Table 4. pH and contents of organic matter, major elements and metals in composting mixtures during composting(on a dry matter basis)

Items	Composting materials	Composting time (weeks)				
		0	1	2	3	4
pH	Case I	4.93	5.03	5.06	5.08	5.09
	Case II	4.93	5.00	4.51	5.10	5.14
	Case III	4.93	5.00	4.46	5.12	5.20
Organic matter (%)	Case I	84.08	84.65	83.97	83.97	84.13
	Case II	83.26	84.88	86.17	85.94	86.31
	Case III	85.74	85.83	86.05	86.29	86.17
Kjeldahl-N (%)	Case I	3.89	4.30	4.10	3.62	3.99
	Case II	4.52	4.62	3.23	3.12	4.32
	Case III	4.53	4.19	3.13	3.65	3.50
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/kg)	Case I	49.33	36.63	770.62	379.70	444.96
	Case II	58.73	42.63	269.53	615.53	420.33
	Case III	53.64	27.06	357.25	102.29	256.35
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (mg/kg)	Case I	3.26	0.07	0.09	1.36	0.32
	Case II	2.36	0.03	0.08	0.33	0.04
	Case III	2.45	0.01	0.10	0.29	0.02
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/kg)	Case I	7.50	29.62	146.06	282.91	161.16
	Case II	9.36	95.00	184.01	381.02	263.10
	Case III	9.27	109.57	151.50	81.40	183.07
CaO (%)	Case I	2.33	1.88	2.45	2.06	1.72
	Case II	1.97	0.91	2.20	2.92	1.85
	Case III	1.52	1.66	1.56	1.28	1.60
MgO (%)	Case I	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
	Case II	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
	Case III	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
K <sub>2</sub> O (%)	Case I	0.13	0.11	0.12	0.14	0.14
	Case II	0.12	0.13	0.12	0.11	0.11
	Case III	0.12	0.11	0.11	0.15	0.15
NaCl (%)	Case I	4.12	4.11	4.35	4.28	4.19
	Case II	3.99	3.69	3.35	3.34	3.16
	Case III	4.01	3.86	3.66	3.34	3.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Case I	1.04	0.92	0.90	1.01	0.88
	Case II	0.95	0.82	1.00	0.79	0.72
	Case III	0.87	0.71	0.77	0.86	0.76
Cr (mg/kg)	Case I	10.9	29.9	31.0	38.8	41.2
	Case II	20.36	21.9	20.6	14.0	14.3
	Case III	20.46	20.1	20.3	26.3	23.4
Cd (mg/kg)	Case I	ND	ND	0.18	ND	0.41
	Case II	1.32	1.35	0.65	0.43	0.16
	Case III	0.03	0.02	0.21	ND	ND
Pb (mg/kg)	Case I	3.80	2.36	ND	ND	0.58
	Case II	ND	1.25	ND	ND	ND
	Case III	ND	ND	ND	ND	ND

Table 4. Continued

Items	Composting materials	Composting time (weeks)				
		0	1	2	3	4
Cu (mg/kg)	Case I	13.7	19.8	24.1	29.0	25.7
	Case II	10.3	8.8	11.9	11.0	10.0
	Case III	9.67	8.6	12.6	12.34	11.76
As (mg/kg)	Case I	ND	ND	0.09	0.21	ND
	Case II	ND	0.16	0.09	0.01	ND
	Case III	0.18	0.05	0.21	ND	0.02
Hg (mg/kg)	Case I	ND	ND	ND	ND	ND
	Case II	ND	ND	ND	ND	ND
	Case III	ND	ND	ND	ND	ND

\* on a dry matter basis, ND : not detected.

물을 같은 양 투입하였기 때문에 생산된 퇴비의 이·화학적 특성은 별 차이가 없을 것으로 예상되었다. 그러나 Case I의 경우는 재활용 퇴비만 초기에 한번 투입되었기 때문에 나머지 두 경우에는 차이가 있을 것으로 기대되었다. pH는 4.46~5.20의 범위로 비교적 낮았다. 초기에는 모두 pH 4.93으로 같았고 2 및 3주 쯤에는 Case I의 경우가 나머지 경우보다 높았으나 3 및 4주 쯤에는 Case I의 경우가 오히려 나머지 경우보다 낮았다. 이것은 매일 투입되는 퇴비화 가능한 폐기물 자체의 pH 영향으로 생각되었다. 유기물 함량은 Case I의 경우 83.97~84.65%로 퇴비화 기간에 따라 별 차이가 없었으나 나머지 두 경우에는 83.26~86.29%로 퇴비화 기간이 경과함에 따라 투입된 퇴비화 가능한 가정폐기물의 전체 양이 점점 증가됨으로써 유기물 함량도 약간 증가하였다.

Kjeldahl 질소함량은 퇴비화 기간이 경과함에 따라 감소하였으며 그 함량은 3.12~4.62% 범위였다. 암모니아성 질소함량은 일반적으로 퇴비화 기간의 경과와 함께 증가하였다가 감소하였으며 그 농도 27.06~770.62 mg/kg 범위였다. 아질산성 질소는 퇴비화 초기에 높았다가 그 후 초기보다 대단히 낮은 농도로 유지되었으며 농도는 0.01~3.26 mg/kg 이었다. 이와는 달리 질산성 질소는 초기 이후에 급격하게 증가하는 뚜렷한 경향을 보였으며 함량은 7.50~381.02 mg/kg 이었다. 이것으로 퇴비화가 진행되면서 산소 공급이 원활하여 질소의 산화가 진행된 것으로 사료되었다. CaO의 함량은 Case I의 경우 뚜렷하게 높았으며 모든 경우 퇴비화 시간의 경과와 함께 감소하는 경향을 보였다. 일반적으로 퇴비화는 무기성분의 농축과정으로 볼 수 있어 CaO는 증가하여야 하는데 왜 감소하였는지는 밝힐 수가 없었다. 그러나 Case II 및 III에서는 매일 투입되는 퇴비화 가능한 가정 폐기물의 CaO 함량에 따라 영향을 받아 농도의 변화가 결정될 수 있어 초기 이후 계속 감소하다가 4주 쯤에 CaO 함량이 높은 퇴비화 가능한 가정 폐기물의 투입으로 농도가 높아진 것으로 생각되었다. CaO의 함량은 0.91~2.92 mg/kg이었다. MgO 함량은 0.02~0.03 mg/kg이었으며 K<sub>2</sub>O 함량은 뚜렷한 경향이 없었으며 0.11~0.15 mg/kg이었다.

NaCl 함량 역시 명확한 경향이 없었고 3.16~4.35 mg/kg이었다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 함량 역시 뚜렷한 경향 없이 0.71~1.04 mg/kg이었다. 각종 중금속들 중 Cr 및 Cu 함량은 Case I 경우 퇴비화 기간에 따라 증가 현상을 보였다. 반면에 Cd 의 경우 Case II와 III의 경우 퇴비화 기간의 경과와 함께 감소하였다. 이들의 함량 범위는 Cr 10.9~41.2 mg/kg, Cd ND~1.35 mg/kg, Pb ND~3.80 mg/kg, Cu 8.6~29.0 mg/kg, As ND~0.05 mg/kg이었으며 Hg는 분석한계 이하이었다.

## 요 약

가정에서 발생하는 퇴비화 가능한 폐기물 중 종이류 및 골판지 등을 제외한 것을 퇴비화 용기에 투입하기 전에 주방용 야채 분쇄기로 잘게 분쇄한 것(Case III)과 가정에서 비용을 들이지 않고 간단하게 실행할 수 있는 방법인 손으로 대충 찢는 것(Case II)으로 퇴비화하면서 분해율과 생산된 퇴비의 이·화학적 특성을 조사하였다. 퇴비화과정 중 퇴비화용기의 습윤 및 건조 상태 잔류 퇴비화물질의 양에 대한 회귀직선식들은 각각 R<sup>2</sup> 값이 0.95 및 0.90 이상으로 이들 식들을 이용한 잔류 퇴비화물질의 양에 대한 예측이 가능하였다. 하루 전체 퇴비화물질의 무게 감소율은 Case II와 III의 경우 각각 6.82% 및 6.93%이었으나 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만에 대한 하루 무게 감소율은 56.43% 및 53.30%로 하루 전체 퇴비화물질의 무게 감소율보다 대단히 높았다. 하루 전체 퇴비화물질의 분해율은 Case II와 III의 경우 각각 8.81% 및 7.70%이었으나 투입된 퇴비화 가능한 가정 폐기물만에 대한 하루 분해율은 각각 19.26% 및 22.95%로 주방용 야채 분쇄기로 거의 죽 상태로 분쇄하였을 경우(Case III) 분해율이 약간 높았다. 생산된 퇴비 중 이·화학적 특성은 Case II와 III의 경우 예상된 바와 같이 큰 차이는 없었다.

## 사 사

이 논문은 2000년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Kim, B. T. (1984. 2) A study on the composting of urban solid waste in Korea, Master's thesis, Dept of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University.
2. Gray, K. R., Sherman, K. and Biddlestone, A. J. (October 1971) Review of composting, Part 2-The practical process, *Process Biochemistry* : 22-28.
3. Golueke, C. G. (1973) *Composting, A study of the process and its principles*, Rodale Press, Inc., Book Division, Emmaus, Pa. 18049.
4. Seo, J. Y. and Joo, W. H. (1994) Decentralized composting of garbage in a small composter for dwelling house, I. Laboratory composting of the household garbage in a small bin, *Korean J. Environ. Agric.* 13(3), 321-337.
5. Seo, J. Y., Heo, J. S., Han, J. P., Park, J. W. and Hwang, M. H. (2000) Effect of vermiculite addition on composting of compostable household wastes in a small bin, *Journal of The Korea Organic Waste Recycling Council*, 8(3), 131-140.
6. Seo, J. Y., Lee, G. S. and Choi, H. S. (1998) Composting of compostable household waste in a home composter without additive, *Korean J. Environ. Agric.* 17(2), 160-163.