

## 소형 퇴비화용기에서 가정 음식물쓰레기의 퇴비화 과정 중 감량화 및 생산 퇴비의 물리화학적 특성

박주원 · 서정윤\*

창원대학교 환경공학과

(2001년 5월 30일 접수, 2001년 10월 19일 수리)

### Mass Reduction and Physicochemical Properties of the Produced Compost during Composting Domestic Food Wastes in a Small Composter

Ju-Won Park and Jeoung-Yoon Seo\* (Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea)

**Abstract :** Mass reduction and physicochemical properties of the produced compost were investigated during composting domestic food wastes without additive. A small composter used in this study had the height of 15 cm from the center of bottom half circle (diameter 24 cm) up to under the lid, the side length of 50 cm and the horizontal lid angle of 50° and was operated at the heating unit temperature of 85°C. It was mixed by the rotating arm for two minutes in every half hour while supplied with air flow at 3 L/min for 10 minutes in every half hour. This condition was found in a preliminary experiment as optimal for keeping the water content of composting material in the optimal range without adding any bulking materials. The domestic food wastes were added into the composter at the rate of 1 kg/day without additives during composting. The results were as follows; during the composting process, water content maintained in the range of 51.0~53.5%. Hemicellulose and lignin contents did not show any tendency, but cellulose content decreased. During the composting process, NH<sub>3</sub>-N and NO<sub>2</sub>-N were not detected due to nitrification. The contents of inorganic compounds did not increase during the composting process. They were in the range of 1.32~1.71% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 1.29~1.48% CaO, 0.41~0.49% MgO, and 0.38~0.74% K<sub>2</sub>O. For 20 days, weight reduction rate was 67.5% in wet basis, and decomposition rate was 48% in dry basis. Concentration of heavy metals (Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Hg, As) was less than the limiting value of the compost. Maturity of the produced compost was 3 grade through reaching maximum temperature of 46~48°C.

**Key words :** composting, food wastes, decomposition rate, maturity degree

## 서 론

심각해지는 매립지 부족과 위생적인 처리에 대한 요구 등으로 인하여 국내에서 음식물쓰레기 관리는 점차 복잡한 국면을 맞고 있으며 쓰레기 관리체계의 효율을 증진하기 위해 많은 대안들이 제시되고 있다. 전국 퇴비화 가능한 가정 폐기물 발생량은 1996년 말 1일 14,532톤으로 생활폐기물 발생량의 29.1%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 재활용을 위하여 분리 수거된 품목을 제외할 경우 39.4%로서 매립 또는 소각 처리되는 쓰레기의 상당 부분을 차지하고 있다<sup>1)</sup>. 이에 따라 1996년 12월 환경부에서는 "음식물쓰레기 줄이기 종합대책"을 확정하고, 음식물쓰레기 감량 및 재활용 확대를 위한 제도 개선방안으로 음식물쓰레기 감량 의무화 사업장의 범위를 확대 강화하였다<sup>2)</sup>. 음식물 찌꺼기는 주로 곡물과 채소, 어육류와 가공품으로 이루어져 있으며 발생량이 낮

고 수분함량이 높아 소각 처리에 부적합하여 대부분 매립처리 되고 있는 실정이고 악취, 침출수, 지반침하 등에 의한 2차 오염과 쓰레기 매립지의 사용기간 단축 등의 문제로 이어지고 있어 위생적이고 효과적인 처리법의 확립이 무엇보다도 중요하다.

퇴비화의 최종목표인 안정화를 위해서는 적정 온도의 유지가 필요하다. 그러나 우리 나라의 음식물쓰레기는 수분함량이 20~30% 정도인 외국의 음식물쓰레기와는 달리 약 80%이상의 수분을 함유하고 있어 수분조절 없이 원활한 퇴비화를 기대하기 어렵다<sup>3)</sup>.

기존의 음식물 쓰레기 퇴비화 장치들은 첨가제를 혼합하여 퇴비화에 적절한 수분함량을 조절하고 있어 수분 조절제의 주입 없이는 퇴비화 조건을 충족시키지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 소형 퇴비화용기를 제작, 수분 조절제의 첨가 없이 퇴비화에 적절한 수분함량을 유지할 수 있는 운전 조건을 사전에 조사하여, 그 조건에서 아파트 각 가정에서 발생되는 퇴비화 가능한 가정 음식물쓰레기를 매일 투입하면서 퇴비화 과정 중 적절한 수분함량 유지 여부, 감량 효과 및 생산된 퇴

\*연락처:

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

E-mail: odour@hanmail.net

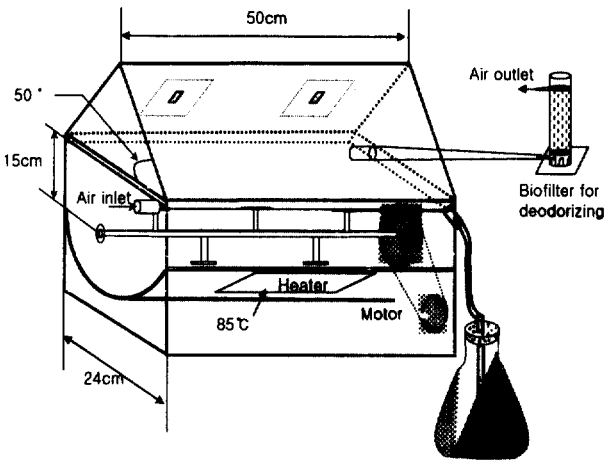


Fig. 1. Schematic diagram of a composter.

비의 물리·화학적 특성을 조사하였다.

### 재료 및 방법

#### 퇴비화 장치

본 실험에 사용된 퇴비화 장치는 Fig. 1과 같다. 퇴비화 장치는 24 cm×50 cm×15 cm의 크기로 아크릴로 제작되었으며, 자동으로 온도 및 혼합을 조절할 수 있도록 제작하였다. 그리고 응축수의 포집을 위하여 뚜껑을 삼각형의 형태로 하였고, 통 내부에 응축수가 일정한 곳으로 모여 밖으로 배출될 수 있도록 하였다.

#### 음식물쓰레기 물리·화학적 특성

본 실험에 사용한 일반 가정에서 발생하는 음식물쓰레기의 성분 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 수분함량은 47.5%에서 85.5%까지 광범위하였다. 이처럼 수분함량의 차이가 심한 것은 음식물쓰레기의 종류와 배출시 수분의 제거 유·무에 따라 크게 달라질 수 있음을 보여준다. pH는 산성 영역을 나타내고 있는데 이것은 시료의 성분 중 과일의 비율이 높았기 때문으로 사료된다. 유기물의 함량은 79% 이상이었고, Pb, Cu, Zn 등의 중금속들도 함유되어 있었다.

#### 실험방법

실험은 1997년 10월 6일부터 1998년 1월 10일까지 실시하였다. 가정에서 발생하는 음식물쓰레기의 발생량이 약 250 g/day·capita(이므로<sup>4)</sup> 4인 가족의 가정을 기준으로 음식물쓰레기를 매일 1 kg씩 소형 퇴비화 용기에 투입하면서 실험하였다. 온도는 열판의 온도 85°C (장치내부의 온도 약 42°C), 교반주기는 30분 간격으로 2분간 교반되었다. 교반될 때마다 산소를 공급하기 위하여 분당 3 L의 공기를 10분간 공급하였다. 음식물쓰레기는 항상 용기의 한쪽에만 투입되고 다른 쪽에서 배출되도록 운영하였다. 퇴

Table 1. Physicochemical properties of the food wastes

Ingredients	Content <sup>a)</sup>
Water content (%)	47.5 ~ 85.5
pH	4.1 ~ 5.6
Organic matter (%)	79.6 ~ 91.0
Inorganic matter (%)	9.0 ~ 20.5
Hemicellulose (%)	7.9 ~ 21.0
Cellulose (%)	4.2 ~ 11.9
Lignin (%)	2.2 ~ 11.8
T-N (%)	0.06 ~ 3.1
NO <sub>2</sub> -N (mg/kg)	7.5 ~ 10.6
NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	95.5 ~ 316.8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/kg)	96.3 ~ 453.3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.04 ~ 0.21
K <sub>2</sub> O (%)	0.80 ~ 1.9
CaO (%)	0.39 ~ 3.8
MgO (%)	0.13 ~ 0.45
Pb (mg/kg)	0.58 ~ 90.6
Cu (mg/kg)	9.4 ~ 94.8
Zn (mg/kg)	21.8 ~ 72.9
Cd (mg/kg)	ND <sup>b)</sup> ~ 0.09
Hg (mg/kg)	0.01 ~ 0.02

<sup>a)</sup> unit: on a dry matter basis except for water content

<sup>b)</sup> ND: not detected

비화 과정 중 퇴비의 성분함량은 퇴비화 초기 음식물쓰레기와 퇴비화 약 30일 정도가 경과한 후 용기의 퇴비가 배출되는 쪽에서 10일 간격으로 시료를 채취하여 각종 성분함량을 분석하였다. 무게 감소 및 분해율은 퇴비화가 시작된 초기부터 20일 동안 조사되었다. 퇴비화용기는 퇴비화 30일 후에 가득 채워졌으며 이후부터 일 주일에 1 kg 정도 한번만 배출하면 일정하게 유지될 수 있었다.

#### 측정 및 분석방법

##### pH 측정

젖은 시료 10 g에 증류수 50 mL를 넣고 잘 교반하여 30분방치 후 pH-meter로 측정하였다.

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

회분량은 550°C에서 3시간 회화시켜 잔류 성분량의 무게로서 측정하고 처음 분석시료에서 회분량을 뺀 것을 유기물량으로 환

산하였다.

#### Cellulose

본 분석방법은 Finn Alstin<sup>9)</sup>의 방법으로 시료 1 g에 acid detergent solution 100 mL를 가하여 환류냉각기에서 정확히 1시간 끓인 후 G2 유리여과기로 감압여과 하였다. 잔류물을 뜨거운 물로 2-3번 세척한 후 다시 아세톤으로 2번 세척하고 잔류물을 함유한 G2 유리여과기를 온도 105°C에서 정확히 8시간 건조 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 건조 후 무게 (W2)를 측정하여 W1에서 W2의 무게를 뺀 값을 cellulose량으로 하였다.

#### Lignin

Cellulose분석 후 G2유리여과기에 남은 잔류물을 다시 500°C에서 3시간 회화한 후 무게 감량을 Lignin량으로 하였다<sup>9)</sup>.

#### Hemicellulose

본 분석방법 역시 Finn Alstin<sup>9)</sup>의 방법으로 시료 0.3 g에 0.15 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 첨가하고 여기에 neutral detergent solution 50 mL를 가한 후 환류냉각기에서 끓기 시작해서부터 1시간 끓여 식힌다. 미리 500°C에서 회화하여 무게를 달아둔 G2 유리여과기에서 감압여과한다. 뜨거운 증류수로 2-3번 여과기에서 거품이 생기지 않을때까지 씻어준 후 2번 아세톤으로 씻은 다음 105°C에서 8시간 건조시켜 무게 (W3)를 측정한다. 이것을 다시 500°C에서 3시간동안 회화하여 무게 (W4)를 측정한다. W3에서 W4의 무게를 빼면 Hemicellulose, Cellulose, Lignin의 전체량 (W5)을 얻는다. 이 값 (W5)에서 Cellulose와 Lignin의 합량을 빼면 Hemicellulose량을 계산할 수 있다.

#### 암모니아성 질소

젖은 시료 25 g에 증류수 175 mL를 가하여 충분히 저은 후 여과하여 여액을 시료로 하여 인도페놀법에 의하여 발색시켜 파장 640 nm에서 흡광도를 측정하여 합량을 계산하였다<sup>9)</sup>.

#### 질산성 질소

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

#### 아질산성 질소

암모니아성 질소 분석용 여액을 시료로 하여 아질산 이온을 슬퍼닐아미드와 반응시켜 디아조화하고  $\alpha$ -나프틸에틸렌디아민이 염산과 반응하여 생성된 아조화합물의 홍색을 파장 540 nm에서

흡광도를 측정한 후 미리 작성한 검량선으로부터 아질산성 질소 함량을 계산하였다<sup>7)</sup>.

#### 총 질소

Kjeldahl 방법에 의하여 분석하였다<sup>9)</sup>.

#### 총인<sup>9)</sup>

시료의 전처리

조제한 분석용 건조시료 1.5 g을 500 mL 킬달 플라스크에 취하고 진한 질산 5 mL를 가하여 시료를 잘 적신 후 처음에는 서서히 가열하다가 차차 온도를 올려 180~200°C에서 가열 건조한다. 이것을 식힌 후 ternary solution (HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : HClO<sub>4</sub> = 10 : 1 : 4) 20 mL를 가해서 200°C 전열판에서 가열하여 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 및 HClO<sub>4</sub>의 흰 연기를 내고 분해액이 백색이 되거나 미색으로 투명하게 되면 분해를 멈춘다. 냉각시킨 후 뜨거운 증류수를 가해 메스플라스크에 여과하고 계속 뜨거운 증류수로 분해플라스크를 씻어 여과한다. 여액은 표선까지 채워 T-P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Cd, Cr, Pb등의 분석에 사용하였다.

#### 분석

전처리한 여액을 시료로 하여 몰리브덴산암모늄법에 의하여 분석하였다.

#### K, Ca, Mg 및 각종 중금속

총인 분석용 전처리한 여액을 시료로 하여 원자흡광광도법에 의하여 분석하였다<sup>9)</sup>.

#### Hg

건시료 0.1 g을 수은분석기를 이용 분석하였다.

#### As

비료 시험방법의 식물체 비소 측정방법을 이용하였다<sup>9)</sup>.

#### 퇴비의 숙성도

퇴비의 숙성도는 Merklblatt 10<sup>10)</sup>에 의하여 측정하였다.

#### 무게 감소율 및 분해율 계산방법

매일 1 kg의 음식쓰레기를 투입하여 24시간 후 유기물 감소율을 초기 유기물량과 비교하여 무게 감소율 (습윤 기준)과 분해율 (건조 기준)을 계산하였다;

무게 감소 및 분해율 (%) = (a/b) × 100

a : 퇴비화 초기의 습윤 또는 건조무게 - 퇴비화 후 습윤 또는 건조 무게

b : 퇴비화 초기의 습윤 또는 건조무게

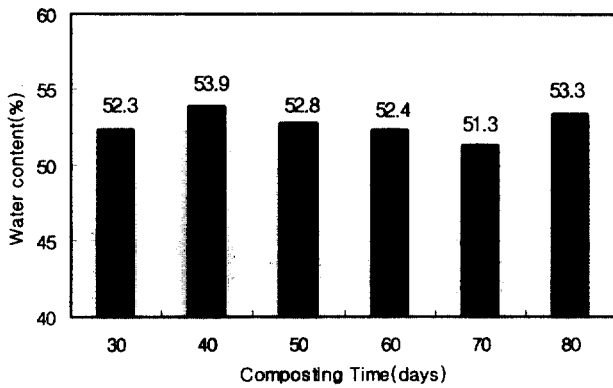


Fig. 2. Water content variation of the compost during the experimental period.

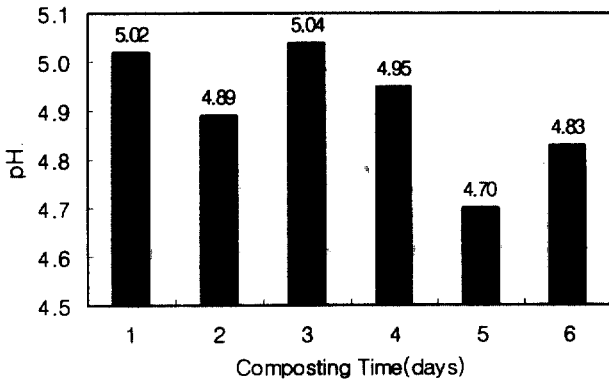


Fig. 3. pH variation of the compost during the experimental period.

### 결과 및 고찰

#### 수분함량 변화

Fig. 2에는 퇴비화 기간 중의 수분함량 변화를 나타내었다. 퇴비화 장치의 내부 온도를 42℃로 고정한 상태에서 장치 내에 매일 1 kg의 시료를 투입하면서 수분함량을 10일 간격으로 조사하였다. 퇴비화 진행과정 중 적절한 수분함량인 50~60%의 범위를 유지하였다<sup>11)</sup>. 이러한 결과로 보아 장치 내에 일정한 양의 시료가 채워져 있을 경우 투입 쓰레기의 수분함량 변동이 심하더라도 적절한 범위의 수분을 유지할 수 있는 것으로 판단된다.

#### pH 변화

Fig. 3은 퇴비화 기간 중의 퇴비화 물질의 pH 변화를 나타내었다. pH는 4.70~5.04의 산성을 나타내었는데 이것은 투입된 음식물쓰레기 중의 쉽게 분해될 수 있는 과일 성분이 많았거나 산소의 불충분한 전달에 의한 유기산의 발효와 관련이 있을 것으로 사료된다.

Table 2. Organic matter content variation of the compost during the experimental period

Composting time (days)	Organic matter (%)	Inorganic matter (%)	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)
30	83.5	16.5	11.9	0.2	4.4
40	84.4	15.6	10.2	4.9	7.7
50	84.7	15.3	9.8	9.1	6.0
60	84.3	15.7	8.9	2.5	9.0
70	84.5	15.5	8.5	7.8	6.1
80	84.8	15.2	8.5	8.1	8.0

\* On a dry matter basis

#### 유기물 함량 변화

Table 2에는 실험수행동안 퇴비 중의 유기성분 함량에 대하여 나타내었다. 유기물 중 Hemicellulose, Lignin은 시간의 경과에 따라 뚜렷한 경향을 나타내지 않았으나, Cellulose는 11.9%에서 8.5%로 점차 감소하는 것으로 나타났다. 퇴비화 과정 중 유기물은 83.5~84.8%로 거의 일정하게 나타났다.

#### 무기물 함량 및 질소 함량 변화

각종 무기성분의 함량을 Table 3에 나타내었다. 성분별 함량은 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.32~1.71%, CaO 1.29~1.48%, MgO 0.41~0.49%, K<sub>2</sub>O 0.38~0.74%로 각 성분마다 특징적인 변화는 없었다. 그리고 염분함량은 건조 기준 2.45~2.92%로 생산된 퇴비를 작물에 바로 사용할 때에는 작물에 적당한 양을 사용되어야 하며 다른 퇴비와 섞어서 사용하는 방법 등도 강구되어야 할 것이다. 퇴비화 과정 중 질산화가 진행되어 암모니아성 및 아질산성 질소는 검출되지 않았고, 질산성 질소만 검출되었다. 총 질소함량은 1.27~3.00%의 범위였다.

#### 중금속 함량 변화

퇴비화 과정 중 각종 중금속의 함량을 Table 4에 나타내었다. 검출된 중금속 함량은 퇴비의 기준함량 이하로 Cu, Cd, Pb, Hg, As는 검출되지 않았고, Cr은 9.8~13.8 mg/kg으로 기준치 300 mg/kg<sup>12)</sup>보다 낮았으며, Zn은 25~100 mg/kg이었다. Zn의 함량은 퇴비화 기간의 경과됨에 따라 증가되는 경향이 뚜렷하였다. 이것은 모든 음식물쓰레기 중에 Zn이 상당량 일정하게 함유되어 있기 때문이다. 반면에 Cr과 As의 함량 차이가 큰 것은 투입된 음식물쓰레기의 이들 함량 차이가 컸기 때문으로 생각된다<sup>9)</sup>.

#### 퇴비화 기간 중 분해효과

Fig. 4에는 퇴비화 기간 동안 퇴비화물질의 무게 변화를 나타내었다. 20일 동안 매일 1 kg의 음식물쓰레기를 첨가했을 때 건

Table 3. Inorganic matter content variation of the compost during the experimental period

Composting time(days)	K <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	CaO (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	NaCl (%)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	TKN (%)
30	0.74	0.49	1.46	1.41	2.68	86.17	1.27
40	0.55	0.47	1.45	1.32	2.92	38.41	2.74
50	0.57	0.43	1.48	1.66	2.92	41.25	1.45
60	0.53	0.44	1.39	1.55	2.80	78.51	3.00
70	0.57	0.41	1.37	1.58	2.45	84.13	2.97
80	0.38	0.42	1.29	1.71	2.80	53.48	2.07

\* On a dry matter basis

Table 4. Heavy metal content variation of the compost during the experimental period

Composting time (days)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Hg (mg/kg)	As (mg/kg)
Limiting value	500	5	300	150	-	2	50
30	ND	ND	13.8	ND	25.0	ND	2.5
40	ND	ND	9.8	ND	31.3	ND	ND
50	ND	ND	10.4	ND	34.4	ND	0.6
60	ND	ND	8.3	ND	28.1	ND	ND
70	ND	ND	7.5	ND	100.0	ND	ND
80	ND	ND	4.7	ND	81.2	ND	ND

\* On a dry matter basis

조 기준으로 총 6.00 kg이 투입되었다. 20일 후에 남은 건조 기준 퇴비량은 3.12 kg이었다. 이것으로부터 분해 율을 계산하면 48%가 분해되었다. 20일의 퇴비화기간 후 잔류 퇴비량은 습윤 기준으로 투입량은 20 kg, 잔류량은 6.51 kg으로 무게 감소율은 67.5%이었다.

퇴비의 숙성도

퇴비화에 있어서 또 다른 중요한 요소는 퇴비의 숙성도이다. 숙성도의 판단은 토양에 시비했을 때, 퇴비 본연의 역할인 토양 물리화학적 개량효과를 극대화시키고 식물의 발아와 생육에 장애를 주지 않는 숙성단계를 찾는 데 있다.

이제까지 발표된 숙성도 판정법으로는 물리적 방법 (Physical Method)과 화학적 방법 (Chemical Method), 그리고 생화학적 방법 (Biological Method)으로 나눌 수 있는데<sup>13)</sup>, 본 실험에서는 물리

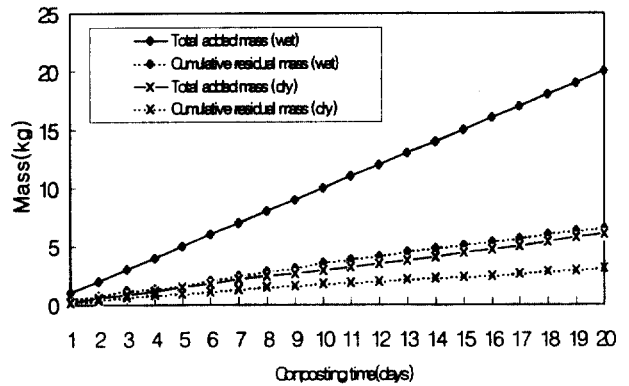


Fig. 4. Mass variation of the compost during the experimental period.

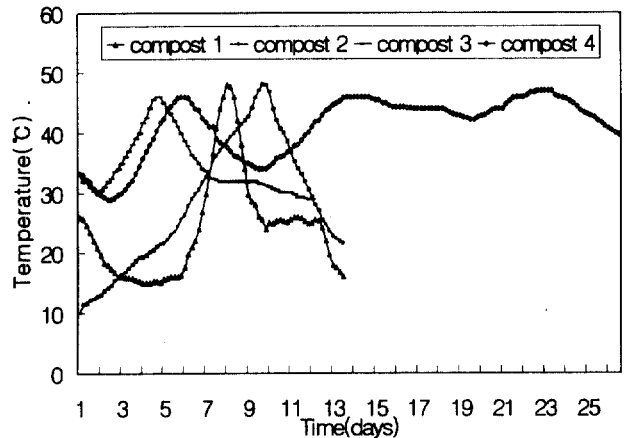


Fig. 5. Temperature evolution in the compost during self-heating period.

적 방법 중 가장 쉽게 판단할 수 있는 적정 수분함량에서 도달되는 최고 온도를 이용한 방법을 사용하였다.

외부 온도에 의한 영향을 배제하기 위하여 20°C 항온실에서 온도의 변화를 관찰하였다. Fig 5에서 볼 수 있는 바와 같이 시료 자체에서 발생한 온도가 46~48°C로 퇴비의 등급 3등급에 해당되었다. 퇴비 1~3의 숙성도는 충분히 완숙된 상태로 장치의 시료 유출부에서 채취한 것이고, 퇴비 4의 숙성도 시료는 장치의 부분 파손으로 인하여 쓰레기 투입 후 완숙되지 않은 상태에서 임의 채취한 시료로 퇴비 1~3의 경우와는 달리 충분히 완숙되지 않은 상태에서 숙성도 실험이 진행되는 동안에 최고 온도에 도달된 후 온도가 떨어지지 않고 완숙되면서 계속 온도가 높게 유지되는 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 소형 퇴비화 용기의 최적 조건에서 미생물이나 퇴비화 보조제를 첨가하지 않고 가정에서 발생하는 음식물쓰레기를 매일 1 kg씩 투입하여 퇴비화를 진행하였다. 실험결과를 요약

하면 다음과 같다; 퇴비화 진행과정 중 수분함량은 51.04~53.45%로 유지되었다. 질소는 퇴비화 진행과정에서 산화되어 암모니아성 질소 및 아질산성 질소로서 검출되지 않았다. Hemicellulose, Lignin은 시간의 경과에 따라 뚜렷한 경향을 나타내지 않았으나, Cellulose는 점차 감소하는 것으로 나타났다. 중금속의 함량은 Cu, Cd, Pb, Hg, As는 검출되지 않았고, Cr은 9.8~13.8 mg/kg으로 부산물 비료의 기준치 300 mg/kg보다 낮았으며, Zn은 25~100 mg/kg이었다. 무기성분은  $P_2O_5$  1.32~1.71%, CaO 1.29~1.48%, MgO 0.41~0.49%,  $K_2O$  0.38~0.74%로 퇴비화 과정 중 큰 변화가 없었다. 20일 동안 퇴비화한 후 무게 감소율은 습윤 기준 67.5%, 분해율은 48%이었다. 배출된 퇴비의 숙성도는 3등급이었다.

### 참고 문헌

1. 환경부 (1997) '96 전국 폐기물 발생 및 처리현황.
2. 유기영 (1998) 서울시 음식물쓰레기 감량 및 자원화 방안, 서울시정포럼, p.50-54
3. Kim, B. T. (1994) Analysis of Process Efficiency for Composting of Municipal Solid Wastes with Controlled Air Supply, Seoul National University, p.1-13
4. 서정윤, 이근선, 최형섭 (1996), 가정용 소형 퇴비화 용기 개발, 경상남도 보건환경연구원, p.1-34
5. Alstin, F. (1983) Appendix to Fibertec Manual (Firmendruckschrift), p.2-9
6. VDI 2461 (1974) Messen der Ammoniak Konzentration Indophenol-Verfahren
7. 수질오염 폐기물 공정시험법 (1996) 도서출판 동화기술.
8. Schmidt, L. (1954) Die Untersuchung von Duengermitteln, Methodenbuch II, Neuman Verlag, Radebeul und Berlin.
9. 농업기술연구소 농촌진흥청 (1978) 토양화학분석법.
10. Merkblatt 10 (1984) Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen fuer Kompost aus Muell und Muell/Klaerschlamm, In Hoesel, G., Schenkel, W. and Schnurer, H., Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung von Abfaellen, Muell- andbuch Band 3, Erich Schmidt Verlag, Kernzahl 6856.
11. Goluke, C. G. (1986) Compost research accomplishments and needs. Biocycle, 27(4), 40-43.
12. 농림부장관 (1997) 비료공정 규격 중 개정고시(농림부 고시 제 96-96호).
13. 장기운, 임재신 (1994) 유기성 폐자원을 이용한 퇴비제품화 요건. 유기성폐기물자원화, 2(1), 121-134