



## 발효건조장치의 가동온도가 음식물쓰레기의 분해 및 이·화학성에 미치는 영향

서정윤 · 박주원 · 이영형\*

창원대학교 환경공학과, \*동아대학교 환경공학과

### Effects of Operating Temperatures on Decomposition and Physico-chemical Properties of Food Wastes in a Fermentation Dryer

Joung-Yoon Seo, Ju-Won Park, Young-Hyeung Lee\*

Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

\* Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University, Pusan 604-714, Korea

#### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effects of operating temperatures on decomposition and physico-chemical properties of household food wastes in a fermentation dryer, which was manufactured by Samwoo Co. Ltd. The household food wastes of 100 kg can be put and dried in this dryer at once. The experiments were performed at each temperature of 35 °C, 45 °C, 55 °C and 70 °C for two days respectively. The samples taken at the fixed time were dried at 105 °C and analyzed to find the decomposition rate and the concentration of each substance. The results obtained were as follows : The decomposition rate at 35 and 70 °C was the highest and showed the similar tendency during the experimental period. The higher the operating temperature was, the faster the water content of the composting material reduced. pH value increased at the operating temperature of 55 and 70 °C and was higher than at the other operating temperatures. Nitrogen content did not show any tendency during the experimental period. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and CaO content increased during the experimental period but MgO, K<sub>2</sub>O and NaCl were not accumulated. Cu content based on dry matter was in the range of ND~100.4 mg/kg and Cd, Pb and Cr were not detected.

**Key words:** operating temperature, decomposition rate, physico-chemical properties of household food wastes in a fermentation dryer

#### 초록

음식물쓰레기 발효건조장치의 가동온도는 발효물질의 분해속도 및 발효물질의 이·화학성 뿐만 아니라 장치의 가동에 소요되는 에너지 양에 크게 영향을 미친다. 따라서 한번에 100kg의 음식물쓰레기를 발효건조시킬 수 있는 시판되는 발효건조기를 사용하여 가동온도를 35, 45, 55와 70°C에서 가동하면서 발효물질의 분해속도 및 이·화학적 특성의 변화를 조사하였다. 분해속도는 35°C와 70°C에서 가장 빨랐으며 모든 온도에서 가동 초기 10시간 내에 급격하게 분해되는 비슷한 양상을 보였다. 온도가 높을수록 분해가 빨랐다. 가동기간에 따른 발효물질의 pH는 가동온도 55°C와 70°C에서 빠르게 증가하였다. 발효물질의 질소함량은 가동기간에 따라 별다른 경향을 나타내지 않았다. 발효물질 중 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 CaO 함량은 가동기간에 따라 증가하였으나 MgO, K<sub>2</sub>O와 NaCl의 함량은 축적되지 않았다. 구리의 함량은 100mg/kg(건조물질 함량)이었으며 Cd, Pb 및 Cr은 분석한계 이하이었다.

주제어 : 발효건조기, 가동온도, 분해속도 및 발효물질의 이·화학성

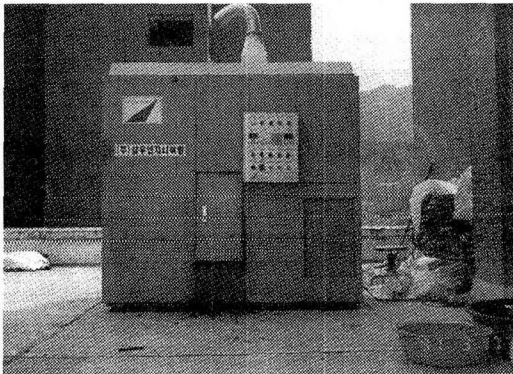
## I. 서론

대형 급식소 및 식당에서 발생하는 잔반은 업소 자체에서 처리하도록 규정되어 있어 많은 회사들이 여러 가지 고속발효장치들이 생산 보급하고 있다. 따라서 고속 발효장치를 사용하는 업소 수는 앞으로 계속 증가될 것이 예상된다. 발효건조조에서 잔반을 단시간에 발효건조할 때 여러 가지 인자들이 발효에 영향을 미친다. 이러한 인자들 중에서도 발효건조기에 들어가는 잔반의 성질은 임의대로 변화시키기가 어렵다. 사용자가 발효건조기에서 쉽게 변화시킬 수 있는 인자는 운전온도이다. 여러 인자들 중에서 가동온도는 고속발효건조기에서 음식물쓰레기를 발효건조할 때 크게 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 발효기의 가동온도를 변화시키면서 각 가동온도에서 발효건조기간 동안에 잔반의 분해속도 및 각 성분함량에 미치는 영향을 조사하였다.

## II. 실험장치 및 방법

### 1. 실험장치

본 실험에 사용한 발효건조장치는 주식회사 삼우엔지니어링의 제품을 사용하였으며 가동온도를 임의대로 조정하였으며 열원으로는 경유를 사용하였다. 장치는 [Fig. 1]과 같다.



[Fig. 1]. Food wastes fermentation dryer

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 발효원료물질 및 실험조건

창원대학교 구내 식당에서 발생하는 잔반을 발효원료물질로 사용하였으며, 발효건조장치에 초기 발효원료물질 100kg을 투입하고, 운전온도는 35℃, 45℃, 55℃ 및 70℃에서 각 온도마다 48시간 발효건조시켰다. 발효건

조시간의 경과에 따라 발효물질의 물리·화학적 변화를 조사하였다. 발효물질은 건조시에 변하는 성분은 젖은 상태로 채취 후 가위로 잘라서 분석하였으며 그 외의 성분은 시료를 105℃에서 건조시킨 후 1mm 이하의 크기로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다.

정확한 가동온도의 영향을 조사하기 위해서는 같은 발효건조장치에 같은 시료를 대상으로 실험하여야 하나 본 연구에서는 여건상 하나의 장치에서 교대로 실험하였다.

#### 2.2 측정 및 분석방법

pH는 젖은 시료 100g에 증류수 250ml를 넣고 잘 교반하여 30분 방치 후 pH-meter로 측정하였다. 회분은 600℃에서 3시간 회화시켜 잔류성분의 무게로서 측정하였고 처음 분석시료에서 회분량을 빼어 유기물량으로 하였다. 그 외의 성분은 비료분석법해설<sup>1)</sup>에 의하여 분석하였다. 임의의 발효건조 시간에 잔류건조발효물질 양은 초기 투입된 회분의 절대량은 불변이라는 가정 하에 다음과 같이 계산하였다.

일반적으로 분해율은 다음 (1)식과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{분해율}(\%) = \frac{a}{b} \times 100 \text{-----}(1)$$

- a: 초기 투입물질의 건조무게  
- 임의의 시점에서 발효물질의 건조무게
- b: 초기 투입된 물질의 건조무게

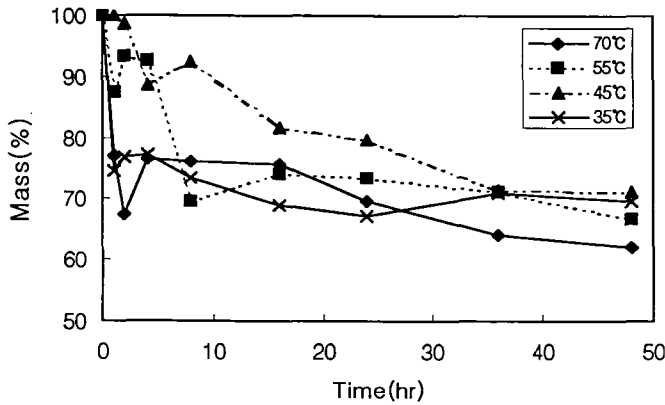
그러나 위의 식에서 분해율을 계산하기 위해서는 임의의 시점에서 발효물질의 건조무게를 알아야 한다. 따라서 임의의 시점에서 발효물질의 건조무게는 임의의 시점에서 채취한 시료의 회분함량을 분석하여 다음과 같이 계산할 수 있다. 초기에 투입물질 중의 회분 양은 불변이므로 다음 (2)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{회분의 양} = \frac{b \times d}{100} = \frac{c \times e}{100} \text{-----}(2)$$

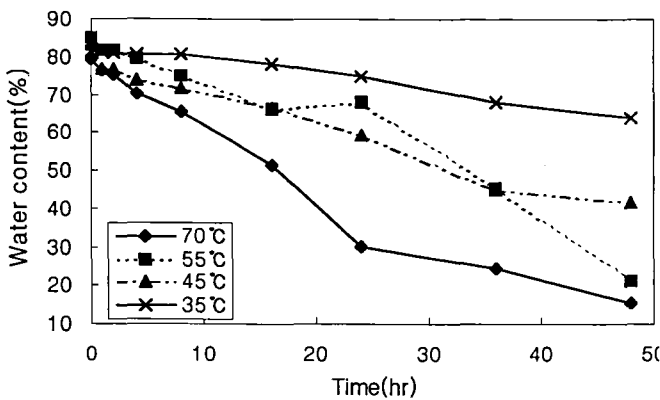
- c: 임의의 시점에서 발효물질의 건조무게
- d: 초기 투입물질의 회분함량(%)
- e: 임의의 시점에서 발효물질의 회분함량(%)

(2)식으로부터 임의의 시점에서 발효물질의 건조무게를 다음 (3)식과 같이 계산할 수 있다.

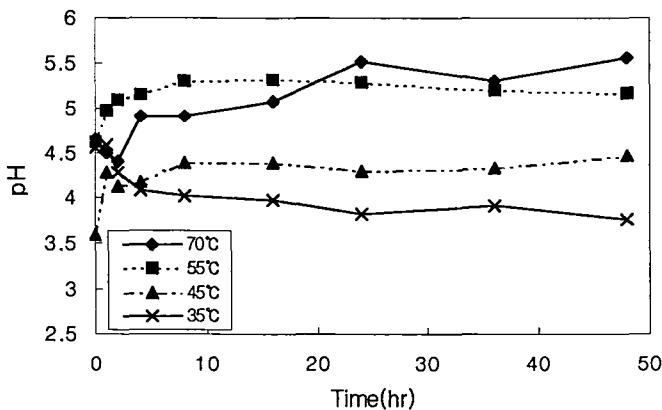
$$c = \frac{b \times d}{e} \text{-----}(3)$$



[Fig. 2] Mass reduction evolution at the various operating temperatures during the experimental period.



[Fig. 3] Water content evolution at the various operating temperatures during the experimental period.



[Fig. 4]. pH evolution at the various operating temperatures during the experimental period.

따라서 (1)식과 (3)식을 정리하면 다음과 같다.

$$\text{분해율}(\%) = \frac{a}{b} \times 100 = \frac{b-c}{b} \times 100 = \frac{b - \frac{b \times d}{e}}{b} \times 100$$

즉 초기 투입물질의 건조무게와 회분함량 그리고 입

의의 시점에서 채취한 시료의 회분함량으로부터 입의 시점에서의 발효물질의 건조무게가 계산된다. 따라서 분해율도 계산 할 수 있다.

### III. 결과 및 고찰

[Fig. 2]에 시간경과에 따른 건조 유기물의 감량변화를 나타내었다. 초기 투입물질의 건조 중량을 100%로 하고 건조시간이 경과됨에 따라 잔류 건조물질의 무게를 초기 양에 대한 백비율로 표시하였다. 가동 1시간 후 가동온도 35°C에서 25.5% 그리고 55°C에서 12.5% 감소하여 35°C에서 분해율이 초기에 가장 빨랐고 45°C에서 거의 변화가 없어 분해율이 가장 낮았다. 45°C에서의 분해율이 35°C에서의 분해율보다 낮았던 것은 잔반의 구성성분이 다를 수 있기 때문에 이 온도가 유기물 감량에 가장 좋지 않다고 단정할 수는 없었다. 그러나 실험결과에 의하면 45°C를 제외하면 초기에 낮은 온도에서 운전하더라도 높은 온도에서와 같은 유기물의 감소 효과를 가져올 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 초기에 현재 대부분의 고속발효장치들이 70°C 부근 온도에서 운전을 하고 있는데 운전온도를 낮추어 운전함으로써 높은 온도에서와 비슷한 유기물의 양도 줄이면서 동시에 필요에너지도 절약할 수 있을 것으로 생각되었다. 가동 8시간 후 가동온도 35, 45, 55 및 70°C에서 각각 건조물질의 무게는 22.5%, 7.5%, 30.3%, 24.8% 감소하였다.

[Fig. 3]의 경과시간에 따른 수분함량의 변화를 보면 운전온도가 높을수록 수분의 감소속도는 빨랐다. 운전시간 24시간과 36시간에 운전온도 55°C에서의 수분함량이 45°C에서의 수분함량보다 높았던 것은 16시간 후 수분함량이 너무 낮아 발효를 원활하게 하기 위하여 일정 양의 물을 공급해주었기 때문이었다. 특히 가동온도 70°C에서 20시간 이상 가동한다면 일반적으로 미생물활동이 저해 받는 수분함량 범위인 40% 이하)가 되기 때문에 주의가 요구되었다.

[Fig. 4]의 pH 변화를 보면 55°C 및 70°C일 때 계속 pH가 상승하였고 다른 운전온도에서 보다 전반적으로 높았다. 55°C에서는 초기에 pH가 낮아지는 시기가없이 계속 상승하였으나 45°C와 70°C에서는 pH가 한번 낮아졌다

가 다시 상승하였다. 그러나 운전온도 35℃에서는 초기에 크게 낮아졌다가 8시간 이후에는 완만하게 낮아지는 경향을 보였다. 대부분의 퇴비화 실험에서는 초기의 산형성 미생물의 작용으로 발생된 유기산에 의해 pH가 산성을 나타내지만 곧이어 NH<sub>3</sub>의 발생으로 인하여 다시 중성인 pH 7~8로 안정되는 것이 일반적이다(3, 4). 가동온도 55℃에서 초기에 pH가 낮아지지 않고 상승한 것은 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 유기물 분해속도가 느려 다른 가동온도에서보다 산의 생성 양이 상대적으로 적었으나 [Table 4]에서 암모니아태 질소의 함량은 높았기 때문에 생각되었다.

[Table 1]의 각 운전온도에서 시간의 경과에 따른 유기물함량의 변화를 나타내었다. 가동시간이 경과함에 따라 유기물의 함량은 뚜렷하게 감소하였다. 운전온도가 높을수록 48시간 후의 유기물함량은 낮았다. 초기의 유기물 함량이 달랐기 때문에 정확한 비교는 불가능하였으나 35℃ 이외의 가동온도에서는 운전온도가 높으면 분해율이 높아 유기물의 함량이 빨리 감소하는 경향을 보였다. 특히 유기물 함량이 가동온도 55℃에서 48시간에 21.3% 그리고 70℃에서는 36시간에 24.3%로 부산물비료 함량기준(6) 25% 이하였다. 이 함량은 건조물질에 대한 함량이기 때문에 수분이 함유된 상태에서는 그 가동시간보다 짧을 때에도 부산물 기준 이하가 될 수도 있을 것으로 예측되어 부산물 비료로 사용하려고 할 때에는 이에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

[Table 2]에서 시간의 경과에 따른 질소성분함량 역시 뚜렷한 경향은 볼 수 없었다. 그러나 [Table 3]의 암모니아태 질소의 함량변화를 보면 최고 농도에 도달하는 시간은 각 가동온도에 따라 달랐지만 초기에 함량이 증가하였다가 후기에 감소하는 경향을 보였다. 이것은 일정 기간까지는 유기물의 분해속도가 계속 증가하였다

[Table 1] Organic matter content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit : % in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)									
	0	1	2	4	8	16	24	36	48	
35	92.1	81.2	81.2	80.6	80.6	78.1	75.0	68.0	64.0	
45	83.3	76.8	76.6	73.8	71.5	66.4	59.5	45.0	41.7	
55	84.5	81.8	81.5	79.5	74.8	66.3	68.2	45.1	21.3	
70	79.0	76.2	75.4	70.1	65.7	51.4	30.3	24.3	15.3	

[Table 2] Total nitrogen content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit : % in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)									
	0	1	2	4	8	16	24	36	48	
35	1.9	1.9	2.4	4.9	3.0	4.2	4.5	4.1	2.9	
45	1.7	2.0	1.9	1.9	4.4	3.9	4.5	3.6	2.4	
55	2.3	1.9	2.8	3.5	2.2	2.0	3.2	2.5	2.4	
70	4.5	4.0	4.3	4.2	2.5	1.7	2.8	4.8	1.5	

[Table 3] NH<sub>4</sub>-N content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit : mg/kg in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)									
	0	1	2	4	8	16	24	36	48	
35	417.3	648.6	581.3	693.6	780.9	782.8	628.7	553.9	482.2	
45	411.3	443.7	490.5	482.4	446.8	368.6	313.8	226.2	180.5	
55	380.9	632.3	831.2	1020.8	1247.6	1024.8	998.0	680.2	617.4	
70	638.7	732.9	717.9	594.3	535.8	421.4	190.1	123.0	126.5	

[Table 4] NO<sub>2</sub>-N content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit : mg/kg in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)									
	0	1	2	4	8	16	24	36	48	
35	2.3	4.8	3.6	5.7	4.8	5.2	0.7	3.1	1.3	
45	2.5	7.0	7.8	7.3	6.2	4.0	1.8	1.0	0.4	
55	1.7	4.0	3.1	1.3	2.6	1.6	2.6	2.3	2.0	
70	1.7	1.0	2.1	2.5	0.2	1.2	0.5	0.2	0.2	

[Table 5] NO<sub>3</sub>-N content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit : mg/kg in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)									
	0	1	2	4	8	16	24	36	48	
35	276.3	283.3	238.6	300.2	284.5	194.4	226.3	272.6	240.8	
45	204.4	93.1	162.3	139.6	131.9	78.4	71.2	48.0	36.6	
55	185.3	169.4	147.4	181.7	152.2	107.9	109.3	60.3	39.5	
70	147.3	229.4	209.6	152.8	153.3	142.2	90.3	71.1	62.5	

[Table 6] P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit: % in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)								
	0	1	2	4	8	16	24	36	48
35	1.0	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4	1.4
45	1.1	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.4
55	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
70	1.8	3.8	3.5	1.5	2.5	1.7	3.1	3.9	3.0

[Table 7] CaO content evolution by the various operating temperatures during the experimental period(unit: % in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)								
	0	1	2	4	8	16	24	36	48
35	0.6	1.0	1.1	1.1	1.0	1.4	1.1	1.2	1.1
45	1.2	1.4	1.6	2.0	1.7	2.4	2.5	2.8	2.5
55	0.7	2.7	1.1	1.2	3.5	3.0	2.4	3.2	3.2
70	2.0	4.9	5.0	1.4	3.5	2.3	3.9	5.1	3.8

[Table 8] MgO content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit: % in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)								
	0	1	2	4	8	16	24	36	48
35	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
45	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
55	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
70	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3

[Table 9] K<sub>2</sub>O content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit: % in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)								
	0	1	2	4	8	16	24	36	48
35	1.2	1.3	1.1	0.7	0.8	0.9	1.1	1.0	1.1
45	0.7	0.6	0.7	0.8	1.0	1.0	1.4	1.6	1.5
55	0.7	1.0	1.2	1.0	0.9	1.0	1.0	0.8	1.0
70	1.0	0.6	1.0	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7

[Table 10] NaCl content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit: % in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)								
	0	1	2	4	8	16	24	36	48
35	4.7	5.8	5.2	4.7	5.3	5.2	5.8	5.3	5.8
45	5.8	4.9	5.0	5.3	4.6	5.8	5.2	5.2	5.3
55	4.8	5.1	5.1	5.1	4.8	5.0	5.0	5.1	5.0
70	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	4.9	4.9	5.0

가 그 이후에는 점점 감소하기 때문으로 생각되었다. [Table 4와 5]의 아질산태 및 질산태 질소의 함량은 뚜렷한 경향을 볼 수 없었다. 그러나 질산태 질소함량은 전반적으로 초기보다 후반에 감소하는 경향을 나타내었다. 가동온도 35℃에서 질산태 질소의 함량이 가장 높았고 그 이상의 가동온도에서 전반적으로 낮았다. 이러한 현상은 질산화 세균이 40℃ 이상의 온도에서 활성이 감소되기 때문으로 생각되었다).

[Table 6~10]까지에서 건조발효물질 중 각종 무기성분의 함량변화를 보면 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 35℃ 1.0mg/kg에서 1.4mg/kg, 45℃ 1.1mg/kg에서 1.4mg/kg, 55℃에서 0.5에서 0.8, 70℃에서 1.8mg/kg에서 3.0 mg/kg으로 그리고 CaO 함량은 35℃ 0.6 mg/kg에서 1.1mg/kg, 45℃ 1.2mg/kg에서 2.5mg/kg, 55℃에서 0.7mg/kg에서 3.2 mg/kg, 70℃에서 2.0mg/kg에서 3.8mg/kg으로 가동 시간의 경과에 따라 증가하였다. 그러나 MgO는 0.1~0.3mg/kg, K<sub>2</sub>O는 0.6~1.5mg/kg 그리고 NaCl은 4.7~5.8mg/kg으로 가동시간의 경과에 따른 축적현상을 보이지 않았다. NaCl의 함량은 생산된 발효물질을 농업적으로 사용할 때 세심한 주의가 필요할 것으로 판단되었다. MgO, K<sub>2</sub>O 및 NaCl은 본 실험조건에서는 증발에 의한 손실이 발생하지 않으나 발효물질 중의 유기성분은 가동시간이 경과됨에 따라 분해되기 때문에 이들 성분 함량도 이론적으로 증가되어야 한다. 그러나 본 조사에서 이러한 이론적인 사실을 확인할 수 없었던 이유를 명확하게 밝힐 수는 없었지만 폐기물에서 대표적인 시료의 채취가 이루어지지 않았을 가능성도 배제할 수 없었을 것으로 생각되었다. 또 한편으로는 어떤 특정한 폐기물에 포함되어 있는 이들 성분들이 전 폐기물에 골고루 섞여질 수 없어 대표적인 시료의 채취가 불가능할 수도 있을 것으로 사료되었다.

[Table 11]의 건조 발효물질 중 Cu 함

[Table 11] Cu content evolution at the various operating temperatures during the experimental period(unit : mg/kg in dry weight base).

Operating temperature (°C)	Time (hour)								
	0	1	2	4	8	16	24	36	48
35	12.7	ND	8.7	5.3	3.5	6.1	1.6	5.8	ND
45	ND	4.1	ND	2.3	10.8	12.5	ND	5.1	9.6
55	24.0	2.0	ND	4.0	12.0	5.3	2.7	5.3	4.7
70	8.7	2.0	104.0	8.7	10.0	13.3	11.3	8.0	9.3

량은 ND~104mg/kg의 범위로 발효건조 시간의 경과에 따른 일정한 경향은 나타내지 않았으나 부산물 비료의 기준함량 500mg/kg 이하였다6)다. 그의 Cd, Pb 및 Cr은 분석한계 이하로 검출되지 않았다.

#### IV. 결론

본 연구에 사용한 잔반처리장치에서 발효건조온도가 잔반의 분해속도 및 각 성분함량에 미치는 영향을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다:

- 1) 분해율은 가동온도 35℃와 70℃에서 가장 높았고 변화의 경향도 비슷하였다.
- 2) 가동시간에 따른 수분함량은 가동온도가 높을수록 발효물질의 수분함량 감소 속도는 빨랐다.
- 3) 가동온도가 55℃ 및 70℃일 때 pH는 상승하였고 전반적으로 높았다.
- 4) 시간의 경과에 따른 질소성분함량은 뚜렷한 경향이

없었다.

5) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 CaO 함량은 가동 시간의 경과에 따라 증가하였다. 그러나 MgO, K<sub>2</sub>O 및 NaCl의 함량은 축적 현상을 보이지 않았다. 건조 발효 물질의 중금속 중 Cu 함량은 부산물비료의 기준함량 500mg/kg 이하였으며 그 외 Cd, Pb 및 Cr은 분석한계 이하로 검출되지 않았다.

#### 참고문헌

1. 김영일(1985. 8), 비료분석법해설
2. 남궁완, 김정태, 박준석(1997), 난지도 퇴비화시험시설에서의 퇴비화과정 검토, 한국유기성폐자원학회지, 제5권 제2호, 7-15
3. 이은경, 정재춘(1994), 첨가제를 달리한 음식쓰레기 퇴비화에 관한 연구, 대한환경공학회지, 제16권 제8호, 953-962
4. 남궁완, 김미자, 김정대(1997), 식종물질이 음식물쓰레기 퇴비화정도 및 미생 물활성에 미치는 영향, 한국유기성폐자원학회지, 제5권 제1호, 15-23
5. E. I. Stentiford and T. J. Pereira Neto(July/August 1985), Simplified Systems for Refuse/Sludge Composts, Biocycle, pp. 46-49
6. 농림부 고시 제97-59호(1997. 7), 비료공정규격중 개정고시