

## 코코넛 피트를 이용한 음식물 쓰레기의 퇴비화 기초실험

허 목 · 한지용

제주대학교 환경공학과

### A Basic Experimental Study on Composting of Garbage Wastes by Coconut Peat

Mock Huh and Ji-Yong Han

Dept. of Environmental Engineering, Cheju National University

#### ABSTRACT

This study was performed about composting in a batch reactor of laboratory scale using garbage waste and swine waste. Sawdust and coconut peat were materials to control optimum moisture, C/N ratio and specific gravity in the study.

Comparing compost using only sawdust with compost using sawdust and coconut peat, the latter was higher at reduction rate and decomposition rate. Coconut peat was accelerated aerobic fermentation, because it had moisture holding ability, initial moisture was low, ventilation was good and control of optimum specific gravity was possible. Compost by only garbage waste was under standard of manure, but mixtures in same proportion of garbage waste and swine waste produced high quality compost. CEC value was average 63.8me/100g. The initial C/N ratio of compost was regulated effectively because of high C/N ratio of sawdust. As the C/N ratio(>40) was higher, reduction rate was higher. During the composting C/N ratio was improved more and more.

Key Words : Composting, Swine waste, Garbage waste, C/N ratio, Sawdust, Coconut peat, CEC

#### 초 록

본 연구는 실험실 규모의 회분식 반응기로 음식물쓰레기와 돈분을 퇴비화하였으며, 수분, C/N비 및 비중 조절재로써 톱밥과 코코넛 피트를 사용하였다.

첨가재로 톱밥만을 이용하여 생산된 퇴비와 톱밥과 코코넛 피트를 이용하여 생산된 퇴비를 비교하여 볼 때,

전자가 후자보다 감량율과 분해율이 약간씩 높게 나타났다. 이는 코코넛 피트가 톱밥보다 보습력이 뛰어났기 때문이며, 초기 수분량이 낮고, 통기성이 좋아 적정의 비중조절이 가능하여 호기성 발효를 촉진할 수 있었다. 음식물쓰레기만에 의한 퇴비는 그 비료성분이 부산물 비료의 기준을 만족시킬 수 없으며, 따라서 음식물쓰레기와 돈분을 동일 비율로 혼합하여 양질의 퇴비를 생산할 수 있었다. CEC값은 평균적으로 63.8me/100g 이었다. 톱밥의 높은 C/N비 때문에 퇴비화 초기의 C/N비는 적절하게 조절되었다. C/N비(>40)가 높을수록 감소율이 컸으며, 퇴비화하는 동안의 C/N비는 점점 향상되었다.

**주제어 :** 퇴비화, 돈분, 음식물쓰레기, C/N비, 톱밥, 코코넛 피트, 양이온교환능력

## 1. 서 론

음식물쓰레기를 사료화나 퇴비화시켜 활용하게 되면 환경오염을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 자원의 재생산 측면에서도 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 퇴비화는 원래 농가에서 발생하는 볏짚, 밀짚, 가축, 인분뇨, 그리고 음식물쓰레기 등을 쌓아 올린 퇴비더미에서 자연적인 분해과정을 거쳐 두엄을 만들어내는 전통적인 농경사회의 한 방법이었다. 1930년경 영국의 Howard에 의해 Indore process가 개발된 이후 지금까지 여러가지 형태의 공법들이 발표되었다(백 과 정, 1994).

특히 음식물쓰레기를 비롯한 도시 폐기물을 호기성 퇴비화 방법으로 처리할 경우 부피의 감소, 자체 발열에 의한 병원성균과 잡초 종자의 사멸효과를 얻을 수 있고, 완성된 퇴비는 토양에 시비할 경우 토양의 pH조절, 토양보습효과의 증가, 토양침식방식 등의 효과를 나타내는 토양 개량제로 사용할 수 있다. 그리고 폐기물을 퇴비의 원료로 사용할 때에 불순물(독성물질, 중금속 등의 유해물질)이 혼입될 수도 있는데, 이는 잘못된 퇴비원료의 선택으로 인한 퇴비를 만들 수 있음을 의미한다.

음식물쓰레기는 퇴비화의 원재료에 중독성물질이 거의 없기 때문에 미생물의 활성을 저해할 인자가 적으며 완성된 퇴비의 품질에 있어서 독성물질의 잔존가능성도 여타의 원재료를 이용하여 만든

퇴비보다 낮기 때문에 적용범위도 넓다(이, 1992).

그런데 음식물쓰레기만을 퇴비의 원료로 사용하여 생산된 제품은 그 비료효과가 부족하여 부산물 비료로서의 적정성분함량 만족과 음식물쓰레기 중에 함유되어 있는 고농도 염분을 희석하기 위해서 부재료의 첨가가 필수적이다. 이와 같은 부재료로서 제주지역에서는 양돈산업의 육성에 의해 과량 생산되는 돈분이 우선적으로 실험대상으로 선택되었다. 그러나 돈분과 음식물쓰레기는 높은 수분함량과 유기물, 그리고 비중이 크기 때문에 서로 혼합·퇴적하면 쉽게 압축 밀폐되어 내부는 혐기성 상태가 되어버린다. 이 때문에 호기성 미생물의 활동은 억제되고 혐기성부패가 진행된다. 따라서 퇴비화를 위해서는 내부를 호기성으로 하기 위해서 수분조절과 비중조절이 필요하고, 이를 위해 본 실험에서는 수분과 온도가 자동적으로 조절되는 소멸기를 이용하였으며, 첨가재로서 톱밥과 코코넛 피트를 사용하여 그 최적 조성비를 실험실적으로 구하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치(National Model-1500 Type)의 크기는 길이 500 × 폭380 × 높이 700이며, 본체의 중량은 약 23kg이고 내부부피는

25 l 이다. 뚜껑을 열었다가 닫으면 약 6분간 교반되고, 그 후에는 1시간에 1분씩 교반된다. 교반장치의 회전수는 분당 2회이고, 회전방향은 정·역회전을 반복하며, 안전장치(뚜껑 개방시의 자동정지 기능)가 부착되어 있다.

또한 온도도 자동으로 조절되며, 가열부 안전장치인 과온방지 바이메탈 및 온도 휴즈가 있다. 수분 센서와 온풍팬이 내장되어 있어 온도와 수분을 체크하고 수분이 많을 때는 빠르게 교반되고, 적을 때는 약하게 교반되도록 자동운전되어 수분이 과다하지 않고 지나치게 건조하지 않도록 조절되도록 되어 있다.

2.2 실험재료 및 방법

실험재료로는 제주대학의 구내식당에서 나오는 음식물쓰레기를 중력탈수한 것과 도내 축산농장에서 배출되는 생돈분을 사용하였다. 그리고 퇴비화를 위한 최적 수분 조건 50~60%, 최적 C/N비 25~40, 최적 비중 0.6이하로 조절하기 위해서 첨가제로 톱밥과 코코넛 피트를 사용하였으며, 각 실험단계마다 퇴비화 미생물의 식종으로 돈분과 톱밥을 이용한 퇴비를 전체 투입량의 5%로 혼합하였다.

실험기간 동안 발열에 따른 수분이 약 30%이하가 되면 적정량의 수분을 첨가하여 최적 수분조건을 유지시켰다.

본 퇴비화 실험 전·후의 분석항목으로 함수율, pH, 유기물량, 비중, C/N비를 분석했다. 그리고 생산 퇴비제품의 제품평가항목으로 염분, T-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, T-K<sub>2</sub>O, C/N비, 그리고 부숙도 평가를 위해 양이온 교환능력(CEC)을 분석하였다.

여기서 함수율, pH, 유기물량은 폐기물고정시험법(동화기술, 1996)에 준하여 분석했으며, 비중은 겉보기 비중으로 측정하였고, C/N비는 CHON원소분석기(Fisons Instruments, EA 1108)로 분석하였으며, T-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, T-K<sub>2</sub>O는 비료분석해설집(김, 1985)에 준하여 분석했다. CEC는 Relationship Between Cation Exchange Capacity and Degree off Maturity of City Refuse Composts에 제시된 방법으로 실험하였다(Jacas et al., 1987).

실험재료의 정상과 각 실험조건별 조성비는 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 그리고 코코넛 피트를 포함한 중요 첨가재의 특성을 비교평가한 것을 Table 3,4에 나타내었다.

Table 1. Physicochemical characteristics of raw materials

	Moisture(wt%)	C/N	Specific gravity	VS(wt%)
Garbage waste	70	15	0.97	91.0
Swine waste	75	14	0.96	78.0
Sawdust	28	49	0.25	99.3

Table 2. Mixing ratios of each composting ran materials

Case		Swine waste(A)	Garbage waste(B)	Sawdust(C)	Coconut peat(D)
R-1	a	1	1	0.47	0
	b	1	1	0.50	0.30
R-2	a	1	2	0.92	0
	b	1	2	0.60	0.60
R-3	a	1	3	2.00	0
	b	1	3	1.50	0.50
R-4	a	0	1	0.39	0
	b	0	1	0.39	0.18
R-5	a	1	0	0.28	0
	b	1	0	0.28	0.14

Table 3. Physicochemical properties of major adding materials

		Coconut peat	Rece bran	Sawdust
Coconut	Moisture(%)	11~12	10~15	23.7~36.7
	pH	6.75	6.9~7.2	5.1~6.1
	Organic(%)	83.8	78.5~80.0	98.8~99.8
	C/N	22.5	120~160	44~55
	T-C(DS%)	36	28~40	48.1~49.7
	T-N(DS%)	1.6	1.25~1.05	0.9~1.1
	K <sub>2</sub> O(%)	0.107	0.28	0.08~0.13
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	3.34	1.43	0.04~0.05

Table 4. Characteristics on physicochemical properties of major adding materials

		Coconut peat	Rece bran	Sawdust
Coconut-istics	Strength	① Moisture control is easy because of low initial moisture content. ② C/N ratio is suitable. ③ Excellence of moisture holding ability, nutrient holding capacity and ventilation. ④ Support soil microorganism habitat by porosity. ⑤ A high position of economics because of easy transport and storage. ⑥ Easy mixture at the field. ⑦ Resource conservation of earth environment by recycle of waste.	① Moisture control is easy because of low initial moisture content. ② Because of high C/N ratio, supply of lack carbon source is possible. ③ Effect of continuous manure by silicate component.	① Product by used waste wood at field. ② Supply as necessary is possible. ③ Unnecessary sieving and re-crushing. ④ Use as carbon source for high C/N ratio. ⑤ Effect of continuous manure because of nondegradability organic material.
	Weakness	① Loss money because of imports from other countries.	① Need for storage space because production time is fixed. ② Economical and environmental loss because of long storage. ③ Lack of fast manure effect.	
	support price (won/sack)	3,500	2,500	2,500

Table 5. Experimental results of each composting run

Run NO	Weight(kg)	Moisture(%)				C/N		V/S(%)		pH		Specific Gravity		Salinity (%)	Reduction Rate (%)	Decomposition Rate (%)	CEC (me/100g)	R-O <sub>2</sub> (%)	Added Water (t)	Swine Garbage
		① Initial	② Final	③ Initial	④ Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final							
R-1	a	15	4.0	70.6	26.0	31.0	24.2	91.5	88.1	7.0	9.2	0.68	0.26	2.5	76.5	32.9	6	0.80	0.37	1:1
	b	10	3.2	66.1	66.1	30.2	27.5	89.7	89.0	7.2	8.9	0.54	0.21	2.0	73.3	30.2	6	0.71	0.29	
R-1	a	15	4.8	68.7	22.0	45.8	27.9	90.5	88.3	6.4	9.5	0.64	0.26	1.2	71.8	20.3	6	0.78	0.25	1:2
	b	10	4.0	69.3	43.1	39.6	23.8	88.2	88.6	6.3	9.3	0.52	0.21	1.4	66.7	25.9	6	0.52	0.26	
R-1	a	13.2	5.1	60.6	40.3	56.5	37.0	93.0	39.1	7.6	7.9	0.57	0.3	1.1	66.4	41.5	6	0.46	0.23	1:3
	b	10	4.8	63.0	43.6	23.4	45.8	94.3	90.5	6.1	7.9	0.43	0.25	1.1	60.0	26.8	6	0.45	0.21	
R-1	a	13	3.8	67.7	48.3	75.8	36.0	98.3	97.7	3.9	7.1	0.36	0.24	3.9	76.3	53.2	6	0.18	0.10	0:1
	b	10	5.0	65.4	64.5	96.9	29.9	96.1	96.6	4.3	7.1	0.46	0.22	1.3	63.0	48.7	6	0.06	0.08	
R-1	a	12	6.4	60.6	36.8	26.7	-	90.4	86.0	6.0	8.6	0.53	0.29	1.8	55.9	14.5	6	0.59	0.30	1:0
	b	10	6.5	58.3	47.2	32.1	-	90.1	84.7	5.8	8.8	0.43	0.28	1.4	48.0	17.7	6	0.46	0.20	

• Reduction Rate =  $\frac{(\text{①} + \text{②}) - \text{④}}{\text{①} + \text{②}} \times 100$

• Reduction Rate =  $\frac{\text{①} \times (100 - \text{③}) - \text{②} \times (100 - \text{④})}{\text{①} \times (100 - \text{③})} \times 100$

### 3. 결과 및 고찰

코코넛 피트를 이용한 음식물쓰레기의 퇴비화 기술 개발을 위해서 수행한 본 실험 연구에서 도출되어진 실험결과는 Table 4와 같이 정리되었다.

#### 3.1 휘발성 고형물질(VS)

휘발성 고형물질은 실험기간동안에 대부분 감소하는 경향을 보이는데 이는 유기탄소를 이용하는 미생물의 활동에 따른 CO<sub>2</sub>의 발생과 H<sub>2</sub>O의 소비, 질소성분이 암모니아의 형태로 유실되기 때문이다. 본 실험에서 감소율이 다소 나타나는 것은 첨가재의 주요성분이 난분해성 유기물이고, 이것이 생물학적 분해가 어려운 화합물인 리그닌등과 결합되어 퇴비내에 축적되기 때문인 것으로 생각된다.

#### 3.2 함수율

원재료인 돈분과 음식물쓰레기의 함수율이 매우 높기 때문에 톱밥과 코코넛 피트를 이용하여 초기 함수율을 60 ~ 70%로 조절하였고 정상적인 퇴비화를 위해 적정량의 수분을 첨가하였다.

실험시작 후 6~9일 동안에 평균 45%의 급격한 수분감소를 보였는데, 이는 퇴비화 미생물이 생분해가 쉬운 음식물쓰레기와 돈분을 분해하면서 발생된 발열반응에 기인된 것으로 판단된다.

#### 3.3 감량율과 분해율

15일간의 1차 발효 후의 분해율은 (R-1)~(R3)가 평균 30%였으며, 음식물쓰레기만으로 실험한 (R-4)는 51%, 돈분만으로 실험한 (R-5)는 16%로 음식물쓰레기가 돈분보다는 그 분해율이 높게 나타났다. 그리고 첨가 수분량을 고려한 감량율은 (R-1)~(R-3)가 평균 69%이고, (R-4)는 70%, (R-5)는 52%로 음식물쓰레기가 더 높게 나타났다.

#### 3.4 비중

퇴비화에서 비중은 수분조절과 재료내의 공극을 유지하기 위하여 수분조절재나 팽화재를 넣어 혼합 후 비중을 0.6이하로 하고 발효후의 비중을 처음 부피의 1/4~1/2로 되는 것이 좋다(유기성폐자원협, 1995; 국립환경연구원, 1996). 본 실험에서는 첨가재로 톱밥과 코코넛 피트를 써서 비중을 평균 0.5로 조절하였고 발효후의 비중이 평균 0.25로 측정되었다. 첨가재로 톱밥만을 사용한 실험 a의 경우보다 톱밥과 코코넛 피트를 사용한 실험 b의 경우가 혼합후 비중과 발효후 비중이 더 낮게 나타났다.

이와 같은 실험결과에 따라 코코넛피트 첨가재로 이용하였을 때가 톱밥만을 사용할 때보다 비중조절이 용이하다는 것을 알 수 있었으며, 이것은 결과적으로 내부의 통기성 확보에 의한 호기성 발효를 촉진시킬 수 있다는 것을 증명하고 있다.

#### 3.5 pH

최적 pH는 5.5~9.5이다. 본 실험에서 (R-1), (R-2), (R-3)의 경우에 초기 pH는 최적범위에 있으나 발효 시작후 3일 동안은 유기산의 생성으로 다소 감소하는데 그 후에는 시간이 지날수록 pH가 증가하는데 이는 암모니아의 생성때문인 것으로 판단된다. 반면 (R-4), (R-5)는 초기에는 pH가 감소하지 않고 계속적인 증가를 보였다. 최종 pH는 대부분 7~8사이로 약 알칼리성을 나타냈다. 때때로 pH가 9를 넘기도 하였는데 이는 미생물이 소비할 영양물질이 감소하여 1차 발효가 거의 끝났기 때문으로 판단된다.

#### 3.6 C/N비

이론적으로 C/N비는 25~40정도 범위가 초기 최적범위이나 실제 실험시 음식물쓰레기의 조성비가 커지고 그에 따라 수분과 비중조절을 위한 톱밥 혼합비율의 증가로 초기 C/N비가 다소 높게 나타났다. 초기 C/N비가 40이상으로 높을 경우는 발효

후 52%이상이 감소되었고, C/N비가 25~45인 경우는 27%가 감소했다. 25이하인 경우에는 오히려 96%가 증가했다.

### 3.7 CEC(양이온 교환능력)

CEC값은 측정방법이나 원재료의 성상에 따라 매우 다른 결과를 나타내는데 일반적으로 고품질 기준으로 표현된다(남 등, 1996; 정, 1995). 본 실험에서 CEC값은 적은 차이로 실험 b의 경우가 실험 a의 경우보다 약간 높게 나타나지만 각기 다른 조성비에서 평균 63.8me/100g(고형물 기준)로 비슷한 결과를 나타내었다.

### 3.8 $P_2O_5$ , $K_2O$

1차 발효후의 퇴비중 T- $P_2O_5$ 와 T- $K_2O$ 를 분석한 결과 첨가제로 톱밥만을 사용한 실험 a에서는 비료 성분인  $P_2O_5$ 와  $K_2O$ 양이 평균 0.56과 0.25로 톱밥과 코코넛 피트를 함께 사용한 실험 b의 경우의  $P_2O_5$ 와  $K_2O$ 의 양인 0.44와 0.21보다 좀더 높게 나타났고, 또 실험 a와 실험 b의 두가지 실험에서 모두 음식물쓰레기의 비율이 높을수록 비료성분의  $P_2O_5$ 와  $K_2O$ 의 양이 부족하다는 것을 확인할 수 있었다.

퇴비화 재료로 음식물쓰레기만 사용한 (R-4)에서는 실험 a의 경우  $P_2O_5$ 는 0.18,  $K_2O$ 는 0.1, 실험 b의 경우에는  $P_2O_5$ 가 0.06,  $K_2O$ 가 0.08로 매우 낮게 나타났다. 그리고 돈분만을 사용한 (R-5)의 경우는 실험 a에서  $P_2O_5$ 가 0.59,  $K_2O$ 는 0.36으로 실험 b에서는  $P_2O_5$ 가 0.46,  $K_2O$ 가 0.2로 나타났다.

이와 같은 실험결과를 근거로 음식물 쓰레기만을 원료로한 양질의 부산물 비료의 생산은 불가능하며, 음식물쓰레기의 자원화처리와 수요자가 요구하는 양질의 퇴비생산이라는 2가지 최종목적을 충족시키기 위해서는 돈분과 음식물쓰레기의 혼합처리가 반드시 필요함을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

수분과 비중의 조절 및 C/N비의 조절을 위한 첨가제로서 톱밥과 코코넛피트를 사용한 음식물쓰레기와 돈분의 퇴비화 처리실험에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 돈분만으로 퇴비화한 경우가 음식물 쓰레기만으로 퇴비화한 경우보다 비료성분인  $P_2O_5$ 와  $K_2O$ 의 함량이 더 높게 나타났고, 두 재료를 혼합한 경우에는 같은 비료성분을 함유하고 있었으며 음식물쓰레기의 함량이 높아질수록 비료성분의 함량이 낮아지는 결과를 얻을 수 있었는데 이는 돈분의 경우 매일 같은 양의 사료를 섭취하지만 음식물쓰레기의 경우는 물리화학적 성상이 계속 변화하기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 분해율과 감량율의 경우에는 음식물쓰레기가 더 높은 것으로 나타나 두 재료를 동일 비율로 혼합하였을 경우에 비료효과의 상승과 부피감소의 효과를 동시에 얻을 수 있을 것이다.
2. 첨가제로 톱밥만을 이용하여 생산된 퇴비와 톱밥과 코코넛 피트를 첨가제로 하여 생산된 퇴비를 비교하여 볼 때는 톱밥만을 첨가한 퇴비가 감량율과 분해율이 약간씩 높게 나타났지만, 코코넛 피트는 톱밥보다는 보습력이 좋은 것으로 나타났고, 또한 초기 수분량이 낮고 다공성 구조가 발달했기 때문에 통기성이 좋아 비중조절과 호기성조건 유지에 유리하다고 판단된다.
3. CEC값은 평균 63.8me/100g로 이는 일본 포장 퇴비 품질로서 2급정도이나 일반적인 도시쓰레기 퇴비의 값인 60me/100g(고형물기준)보다는 다소 높았다. 그러나 이와 같은 CEC값은 퇴비가 2차 발효단계인 숙성단계를 거치면서 난분해성물질인 리그닌, 셀룰로오스 등이 분해가 되면서 증가될 것으로 기대된다.

4. 톱밥의 높은 C/N비를 이용하여 퇴비화 초기의 C/N비를 적정하게 조절하였다. C/N비가 40이상으로 C/N비가 높을수록 그 감람율이 커졌는데, 이것은 음식물내의 유기탄소를 미생물의 증식 및 활동에 사용하였고 상대적으로 낮은 pH에 의해 질소 소비량이 줄어 적정 C/N비가 유지될 수 있었던 것으로 사료된다. 그리고 퇴비화 분해기간동안 C/N비의 균형이 점차 향상되었다. 초기 C/N비가 낮을 경우에는 크게 증가했는데 이는 이용할 유기탄소가 적고 이에 비해 리그닌, 셀룰로오스 등 난분해성 유기물질이 많아 질소의 소비가 증가하였기 때문인 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

국립환경연구원 (1996), "축산폐수처리 및 퇴비화 실용기술", 오수정화 기술 세미나, pp.16~20.  
 김영일 (1985), "비료분석해설집".  
 남궁원, 정재춘, 황보근 (1996), "음식물쓰레기퇴비의 숙성도 평가를 위한 물리화학적 지표의 적합

성 연구", 한국폐기물학회지, 제13권, 제6호, pp. 793~799.  
 동화기술편집부(1996), "폐기물공정시험법".  
 백영민, 정재춘 (1994), "집단 급식소의 음식물쓰레기 퇴비화에 관한 연구", 한국폐기물학회지, 제 11권, p.29.  
 이오일 (1992), "미생물학", 일진사, pp.178~179.  
 정준교 (1995), "음식물쓰레기 퇴비화의 숙성도 평가", 건국대학교 대학원 석사학위 청구논문, pp. 6~7.  
 한국유기성폐기물자원화협의회 (1995), "농축산 폐기물의 퇴비화", p.24.  
 Jacas, J., Marza, J., Florensa and P., Soliva, M. (1987), "Cation Exchange Capacity Variation During The Composting of Different", Compost : Production Quality and Use pp.309~312.  
 The Composting Council (1993), "Composting Facility Operating Guide", pp.86~90.