

## 온도를 공기량으로 제어한 음식물 쓰레기 호기성 퇴비화에 관한 연구

황 선 현 · 신 창 호 · 신 부 영 · †조 무 환  
영남대학교 공과대학 응용화학부  
(접수 : 1999. 10. 1., 게재승인 : 1999. 10. 21.)

### A Study on Aerobic Composting of Food Waste with Controlling Temperature by Air Flow Rate

S. H. Hwang, C. H. Shin, B. Y. Shin, and M. H. Cho†  
School of Chemical Engineering & Technology, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea  
(Received : 1999. 10. 1., Accepted : 1999. 10. 21.)

A food waste composting apparatus of 450 L was designed for and tested with changing conditions of inlet air flow rate, agitation and inoculation. Agitation was done twice per day for 5 min and inlet air flow rate was set as 22.7 L/min for RUN 1. For RUN 2 and RUN 3, agitation was continuous, and inlet air flow rate was changed frequently as 10 L/min, 15 L/min and 20 L/min in order to maintain temp. above 50°C, and the concentration of O<sub>2</sub> over 7 mol%. The compost of RUN3 was inoculated with 10 wt% of accomplished compost, and it was compared with RUN 1 and 2 to show the effect of inoculation. The composting rates of RUN 2 and RUN 3 were faster than that of RUN 1, because agitation was continuous and temperature was controlled in RUN 2 and RUN 3. Inoculated RUN 3 was better than RUN 1 and RUN 2 in the concentrations of CO<sub>2</sub> and reduction of volatile solids, while the effect of inoculation on C/N ratios, pH change and the numbers of microorganisms was not clearly appeared.

**Key Words** : food waste, compost, composting apparatus, temp. control

#### 서 론

우리 나라에서 발생되는 퇴비화 가능한 각종 유기성 폐기물의 발생원을 7종으로 구분해 보면 생분뇨, 축산폐기물, 음식물 쓰레기, 농수산 가공폐기물, 하·폐수 슬러지, 분뇨처리장 슬러지와 낙엽으로 분류된다. 이 중 음식물 쓰레기를 포함한 생활 쓰레기 발생 현황을 살펴보면, 80년대는 인구증가, 생활수준향상, 산업화로 인해 지속적으로 증가되었으나, 90년대 초반에 들면서 점차 줄어들어 매년 조금씩 감소되고 있는 실정이다. 한편, 생활 쓰레기 중 음식물 쓰레기가 차지하는 비율을 보면, 1985년에는 19%, 1990년에는 27%, 1995년에는 32%로 증가하고 있어 음식물 쓰레기 처리에 대한 연구가 필요한 실정이다(1).

현재까지 우리 나라의 음식물 쓰레기 처리방법은 1997년 기준으로 매립이 84%, 소각 6.2%, 재활용이 9.8%로서 대부분 매립에 의존하고 있고, 일부분만이 소각 처리 및 재활용되고 있다.

그러나 매립은 침출수의 고농도화 및 악성화를 가져와 인근 공공수역의 오염 및 지하수 오염을 야기시켰고, 소각은 폐기물 내의 높은 함유율로 인하여 많은 비용을 요구하였다. 지금까지 개발된 음식물 쓰레기에 대한 현실성 있는 처리 및 감량화 기술로는 퇴비화, 혐기성 소화, 사료화 등을 들 수 있는데, 이 중 퇴비화 기술은 폐기물의 안정화 및 재활용의 관점에서 가장 손쉽게 다룰 수 있는 방법이다(2-3).

음식물 쓰레기를 대상으로 하는 퇴비화법으로는 1일 1,000 kg 이하에 적용되는 음식물 쓰레기 퇴비화기와 음식물 쓰레기를 고온의 열선, 열풍, 증기, 온도 등을 이용하여 중량을 줄이는 방법인 음식물 쓰레기 감량화기로 구분할 수 있고, 북미 유럽 등지에서는 벌레 퇴비화가 음식물 쓰레기 퇴비화에 이용되고 있다.

퇴비화에 필요한 기초 이론은 공기, 물, 미생물 그리고 미생물의 먹이 즉 유기성 폐기물과 관련된 이론이다. 미생물은 수분과 산소농도가 적절한 수준이 되면 활발히 대사활동을 하여 생성물로서 미생물 자신과 CO<sub>2</sub>, 물, 저분자의 중간생성물, 에너지 등을 만들어낸다. 이 과정에서 발생된 에너지는 퇴비더미의 온도를 상승시키고, 이렇게 상승된 온도는 수분을 증발시킨다. 또한 높은 온도의 유지는 병원성 미생물을 사멸시키는데, 최종적으로 완성된 퇴비는 병원성 미생물이 사멸되고, 악취발생의 염려가

† Corresponding Author : School of Chemical Engineering and Technology, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea  
Tel : 053-810-2517, Fax : 053-814-8790  
E-mail : mwcho@ynucc.yeungnam.ac.kr

없는 안정한 물질이다.

최적상태에서의 퇴비화 과정은 저·중온 단계, 고온 단계, 저온 안정화 단계로 이어지는데, 이때 온도 조절은 외부 가온 방식과 자체 발열량에 의한 방식이 있다(4). 공기 주입량과 관련하여 호기성 퇴비화 미생물이 요구하는 임계산소량은 5% 정도이고, 퇴비화에 관여하는 미생물군의 최적 산소 농도는 대기중에 10% 정도이면 성공적인 퇴비화가 유도될 수 있다. 통기성이 최적에 가깝게 조절된 퇴비화 조건에서 유입공기량의 적정치는 0.4~1.0 L/kg·min 정도라는 보고가 있다(5). 그리고 음식물 쓰레기 퇴비화에서 pH의 변화는 보통 초기에 급격히 낮아진 후, 점점 상승하다가 질소 화합물의 분해가 주를 이루는 반응의 후반기에 지속적으로 상승하여 pH 8~pH 11까지 상승한다(6). 그러나 함수율이 높아 산소전달이 불량할 경우 혐기화가 일어나서 pH가 낮아진다(7). 유기물 분해율은 10일 경과 후 최대 80% 까지 진행되었다고 한다(8). 이외에 20~30 정도의 C/N비, 약 60%의 함수율, 희석제(bulking agent) 종류와 혼입량, 균일한 온도와 산소농도 유지를 위한 교반이 퇴비화의 운전인자로 제시되고 있는데(9), 퇴비 원료의 특성에 따라 적정 기준은 달라진다.

음식물 쓰레기는 독성물질이 거의 없기 때문에 미생물 활성을 저해할 인자가 적으며 완성된 퇴비의 품질에 있어서 독성물질의 잔존 가능성도 다른 퇴비 원료, 즉 분뇨나 도시하수 슬러지 등을 이용하여 만든 퇴비 보다 낮기 때문에 적용 범위도 넓은 것으로 알려져 있다(7). 본 연구에서는 현재 시중에서 사용하고 있는 음식물 퇴비화 장치의 가장 큰 문제점인 긴 퇴비기간을 단축하고, 질 좋은 퇴비를 생산하기 위한 고속 퇴비화 장치를 설계, 제작하여 유입공기량, 교반, 접종 조건에 변화를 주어 퇴비화 기기의 성능을 실험하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 장치 및 재료

본 실험을 위하여 제작한 퇴비화 장치는 Figure 1과 같다. 공기는 반응기 전반부에 설치된 송풍기로 유입시켜 유량계(ROTAMETER, KOREA)를 설치하여 측정하였다. 반응기에 유입된 공기는 반응기 상부로 유입되어 반응기 내에 골고루 분산시켰다. 교반은 12개의 날개를 단 교반축이 반응기 중앙을 관통하고, 반응조 크기(W×L×H)는 762×1356×1036 mm의 직육면체로서, 내부 용적은 450 L이다. 반응기는 회분식으로 운전하였으며, RUN 1, 2, 3으로 표시하였다.

본 실험에 사용한 퇴비 재료는 영남대학교 학생식당에서 발생되는 음식물 쓰레기를 사용하였다. 희석제(bulking agent)는 경북 경산 시내 제재소에서 발생한 톱밥을 열풍으로 건조시켜 함수율을 10%로 맞추어 사용하였다. 본 실험에서 사용한 음식물 쓰레기의 평균 함수율은 82%였으며, 10%로 건조시킨 톱밥과 혼합하여 초기 함수율을 60%로 맞추어 사용하였다. Table 1에서는 각

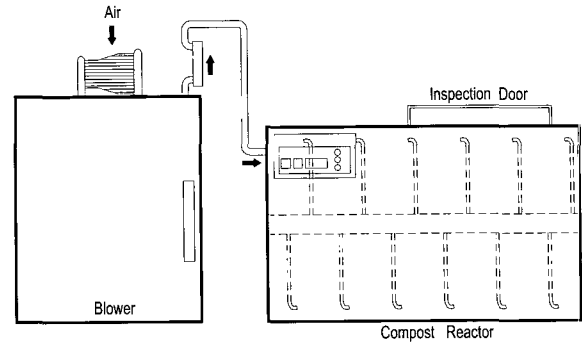


Figure 1. Schematic diagram of composting apparatus.

퇴비 운전별로 사용한 음식물 쓰레기와 톱밥의 사용량 및 함수율과 실험조건을 나타내었다.

### 분석 방법

**온도** : 퇴비 내부의 온도 측정을 위해 전기식 온도계(electrical thermocouple)를 별도로 삽입하여 digital indicator를 통해 2~3 시간마다 측정하였다.

**공기량** : 퇴비화 장치 전반부에 유량계를 설치하여 측정하였다.

**pH** : 농업 과학 기술 연구원의 퇴비의 주성분 및 유해물질 검사법(<http://envy.niast.go.kr/doc/compost.nsf>)에 의하여 습윤퇴비 대 물의 비율을 1:5(W/V)로 섞어 가정용 믹서기로 5분간 강하게 섞은 후 pH meter(ORION 250A, U.S.A.)로 측정하였다. 1일 1회 같은 시간에 측정하였다.

**함수율** : 시료 일정량을 취하여 moisture balance(SHIMADZU EB-340 MOC, JAPAN)를 이용하여 1일 1회 같은 시간에 측정하였다.

**O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>** : 2~3시간마다 O<sub>2</sub> Analyzer(AFRISO, MODEL #490, GERMANY) 및 CO<sub>2</sub> Analyzer(SIEMENS, ULTRAMAT 21)을 이용하여 측정하였다.

**VS(Volatile solids)** : 550℃ 전기로(muffle furnace, AJ153DK, KOREA)에서 4시간 동안 회화시킨 후 잔류량과의 무게 차이로 계산하였다.

**C/N비** : 일정량의 시료를 취하여 TOC(total organic carbon) 대 TKN(total kjeldahl nitrogen)로 나타냈다.

**중금속 측정** : 농업 과학 기술 연구원의 검사법에 기재된 방법으로 K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, Ni를 ICP-AES(PERKIN ELMER OPIMA 3000, U.S.A.)로 측정하였다.

**종자 발아 측정** : 완성된 퇴비의 독성 유무를 실험하기 위하여 농업 과학 기술 연구원의 검사법을 토대로 종자 발아 시험법을 실시하였다. 종자 발아 시험법은 풍건퇴비 5 g을 60℃ 물 100 mL에 넣고 60℃ 욕조에 담구어 3시간 방치한다. 이 퇴비 용출액을 여지가 깔린 petri-dish에 일정량 붓고 배추종자를 파종하여 3일 후에 발아율을 조사하였다.

Table 1. Experimental conditions for RUN 1~3.

	Food waste(moisture)	Sawdust(moisture)	Final compost(moisture)	Agitation	Inlet air flow
RUN 1	67 kg(88%)	37 kg(9%)	-	2 time/1day(for 5 minutes)	22.7 L/min
RUN 2	76 kg(80%)	34 kg(16%)	-	continuous	control according to temp., O <sub>2</sub>
RUN 3	96 kg(80%)	38 kg(10%)	13 kg(58%)	continuous	control according to temp., O <sub>2</sub>

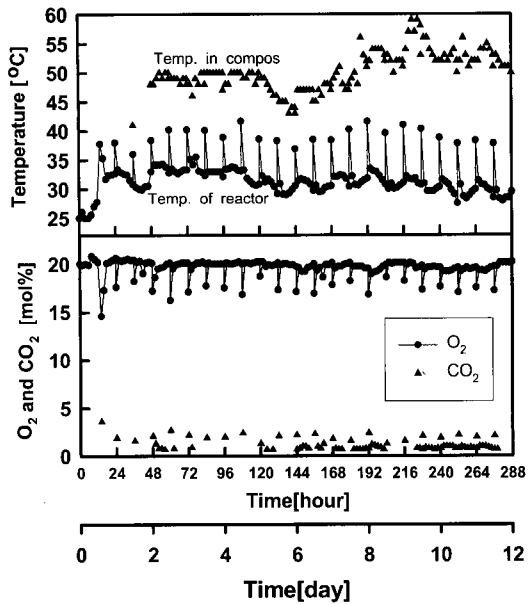


Figure 2. Variations of temperature, O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> for RUN 1.

미생물 수 : 퇴비 온도 변화에 따라 *E. coli*, bacteria(10), fungi(11), *Actinomyces*(12), thermophiles(13) 선별배지를 이용하여 측정하였다. 선별배지는 고압증기살균기(121°C, 15 atm)에서 15분 동안 멸균한 뒤 petri dish에 분주하여 공정시험방법의 평판집락법을 이용하여 콜로니 수를 세었다. *E. coli*는 병원성 미생물의 지표로서, bacteria, fungi, *Actinomyces*, thermophiles는 퇴비 진행과정에서 어떤 미생물이 우점종으로서 퇴비화에 관여하는지를 알기 위하여 그 분포를 측정하였다.

결 과

실험 RUN 1의 결과

실험 RUN 1의 조건은 유입공기량을 22.7 L/min으로 고정하였고, 교반은 하루 2회 실시하였다. 그리고 집중은 하지 않았다. RUN 1의 퇴비 운전 일수는 12일간이었으며, 29일 동안 55°C 항온조에서 후숙하였다. Figure 2는 RUN 1에서의 온도, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 농도 변화를 나타내었다. 50°C 이상의 고온이 8일간 있었는데, 여기서 온도는 퇴비 반응기 상부 온도와 퇴비더미 내부의 온도를 모두 나타내었다. O<sub>2</sub> 농도는 15~20%로서 충분한 호기성 조건을 유지하였으며, CO<sub>2</sub> 농도는 약 3% 정도를 유지하였다. 이 수치는 야적퇴비더미 내의 적절한 CO<sub>2</sub> 농도로서 빠른 퇴비화의 경우 더 높은 CO<sub>2</sub> 농도가 나타난다. Figure 3은 RUN 1의 함수율, pH 그리고 휘발성 유기물량을 나타내는 그래프이다. 함수율은 초기 58%에서 퇴비 41일 경과 후 42%로 감소하였고, pH는 초기 5.4의 산성에서 16일 후 8.7까지 상승했다가 41일 후 pH 7.6을 나타내었다. 휘발성물질은 초기 97.9%에서 퇴비 40일 경과 후 96.4%로 감소하였다.

실험 RUN 2의 결과

실험 RUN 2의 조건은 퇴비화 장치내의 온도가 50°C 이상, O<sub>2</sub> 농도 7 mol% 이상이 되도록 유입공기량을 수시로 조정하였다. 교반은 지속적으로 실시하였으며, 집중은 하지 않았다. RUN

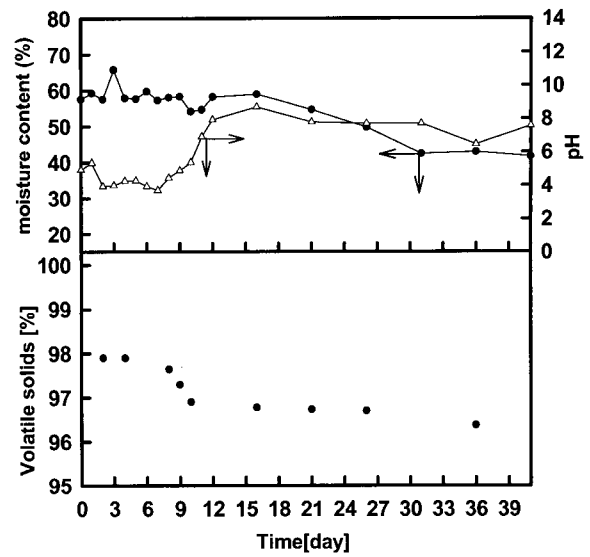


Figure 3. Variations of moisture content, pH and volatile solids for RUN 1.

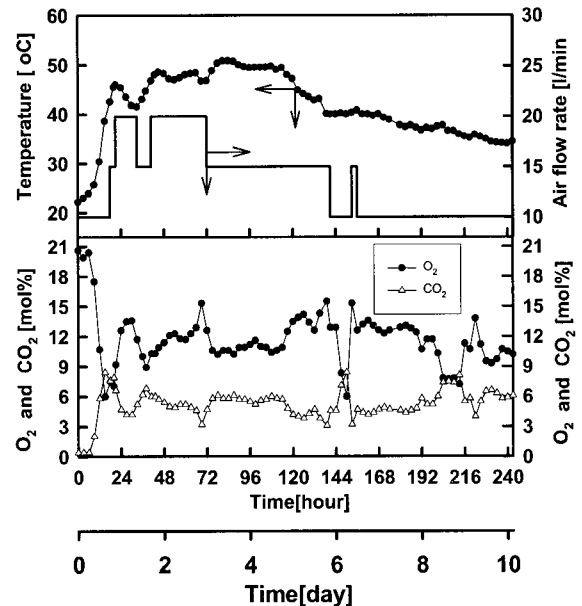


Figure 4. Variations of temperature, O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> for RUN 2.

2의 퇴비 반응기 운전 일수는 10일간이었으며, 38일 동안 55°C 항온조에서 후숙하였다. Figure 4는 RUN 2에서의 온도, O<sub>2</sub>·CO<sub>2</sub> 농도 변화를 나타내었다. 50°C 이상의 고온은 3일간 유지되었고, O<sub>2</sub> 농도는 10~13%로서 충분한 호기성 조건을 유지하였으며, CO<sub>2</sub> 농도는 대체로 5~6 mol% 정도로 RUN 1보다 높은 농도를 유지하였고, 최고 8.5 mol%까지 측정되었다. 미생물에 의한 활발한 분해를 나타내는 결과이다. Figure 5는 RUN 2의 함수율, pH 그리고 휘발성 유기물량을 나타내는 그래프이다. 함수율은 초기 68%에서 퇴비 48일 경과 후 57%로 감소하였고, pH는 초기 4.1의 산성에서 10일 후 8.6까지 상승하여, 후숙기간까지 계속되었다. 휘발성물질은 초기 96.6%에서 퇴비 45일 경과 후 95.1%로 감소하였다.

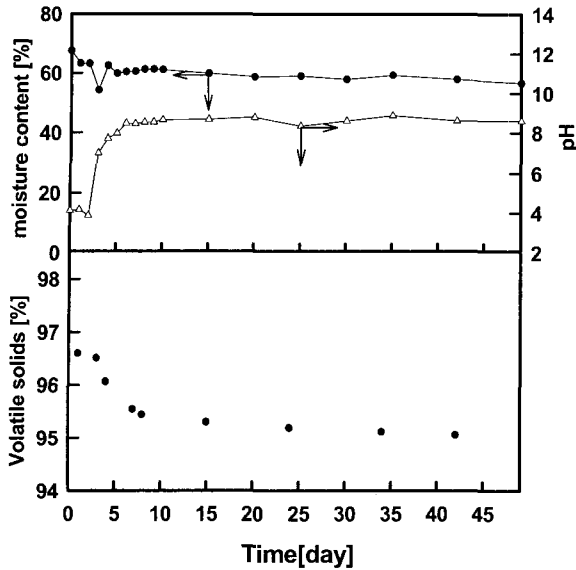


Figure 5. Variations of moisture content, pH and volatile solids for RUN 2.

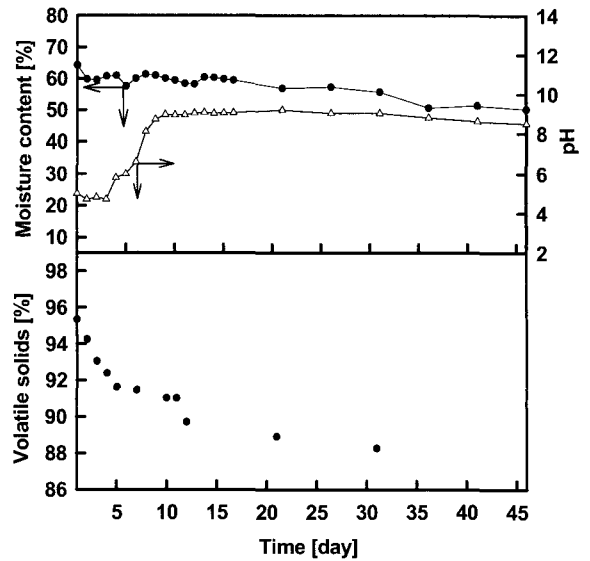


Figure 7. Variations of moisture content, pH and volatile solids for RUN 3.

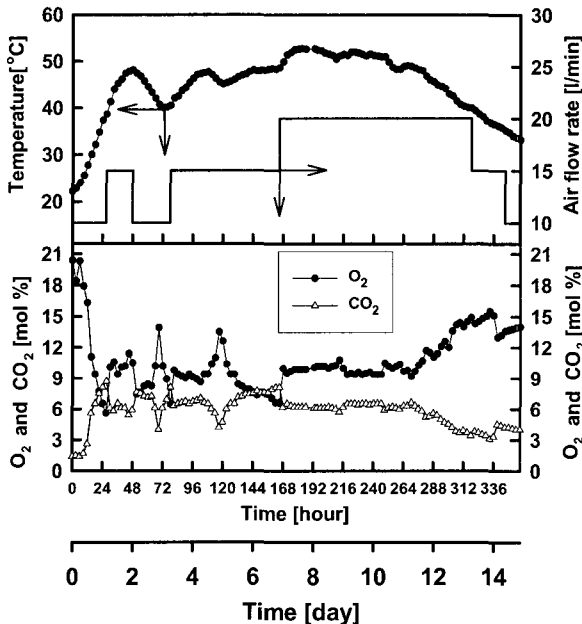


Figure 6. Variations of temperature, O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> for RUN 3.

**실험 RUN 3의 결과**

실험 RUN 3의 조건은 유입공기량을 온도 50°C로 유지하면서, O<sub>2</sub> 농도 7 mol% 이상이 되도록 수시로 조정하였다. 교반은 지속적으로 실시하였으며, RUN 2의 완성된 퇴비를 10 wt% 접종하였다. RUN 3의 퇴비 반응기 운전 일수는 16일간이었으며, 30일 동안 58°C 항온조에서 후숙하였다. Figure 6은 RUN 3에서의 온도, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 농도 변화를 나타내었다. 50°C 이상의 고온은 약 3일간 유지되었고, O<sub>2</sub> 농도는 7 mol% 이상 유지시켜, 호기성 조건을 유지하였다. CO<sub>2</sub> 농도는 대체로 6 mol% 이상으로 미생물에 의한 활발한 분해를 나타내었다. Figure 7은 RUN 3의 함수율, pH 그리고 휘발성 유기물량을 나타내는 그래프이다. 함수율은 초기 64%에서 퇴비 46일 경과 후 50%로 감소하였고, pH는 초기 5.0의 산성에서 8일 후 8.7까지 상승하여, 후숙기간

까지 계속되었다. 휘발성물질은 초기 95.3%에서 퇴비 46일 경과 후 88%로 감소하였다.

**실험 RUN 1~RUN 3에서 생산된 퇴비의 독성 실험**

실험 RUN 1~RUN 3의 완성된 퇴비에 대한 안정도 검사로 시행한 종자 발아 시험 결과는 Table 2와 같다. 독성물질로서 pyrene를 비교하여 실험하였다. 후숙과정에서 취한 퇴비시료에서는 파종한 배추씨 중 95% 이상의 양호한 발아율을 나타내었고, Pyrene 100 ppm에 파종한 배추씨는 거의 발아되지 않았다. Table 3은 완성된 퇴비의 중금속 함량을 측정된 것으로서 유해 중금속은 발견되지 않았으며, 염분 농도는 모든 실험에서 1.5% 미만으로 측정되었다. 특이하게 Mn 농도가 높게 나타났는데, 이것은 희석제(bulking agent)로 투입한 톱밥에 의한 것으로 톱밥만의 중금속 함량을 측정된 결과 Mn의 농도가 약 120 ppm으로 측정되었다.

**실험 RUN 1~RUN 3의 퇴비화 과정에서 미생물 수 변화**

실험 RUN 1~RUN 3의 퇴비화 과정에서 미생물 우점종 변화를 조사하기 위해 미생물 수를 측정하였다. 온도 변화에 따라 우점종이 민감하게 변화하였다. 초기 온도 상승 단계에서는 중온성 박테리아와 산성에서 잘 생육하는 곰팡이가 주류를 이루다가 고온 단계에서는 고온성 박테리아가 10<sup>9</sup>(CFU/g dry solid) 정도로 활발한 생육을 보였다. 후숙기간에서는 55°C 이상의 항온조에서 후숙을 유도한 이유로 고온성 박테리아가 우세하였고, 방선균, 일반세균, 곰팡이 순서로 관찰되었으며, 대장균은 퇴비 온도가 상승한 1~2일 후부터는 측정되지 않았다. 한편 RUN 3의 후숙기간에서는 정전으로 인한 항온조 온도 하강으로 우점종이 방선균으로 변화하기도 하였다.

**RUN 1~RUN 3의 C/N비 변화**

퇴비과정에서 탄소원은 미생물 활동으로 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>의 형태로 방출되어 탄소비는 낮아지나 질소는 미생물의 세포내에 그대로 축적되어 있다가 미생물이 사멸하면 다시 분해되어 재이용된다. 그래서 유기성 폐기물의 초기 C/N비는 퇴비과정을 거치면서 낮

**Table 2.** Results of germination tests in the courses of composting.

	germination rate(germination seed/inoculation seed)		
RUN 1	94%(1 day of curing)	98%(14 days of curing)	98%(29 days of curing)
RUN 2	90%(1 day of curing)	93%(15 days of curing)	96%(30 days of curing)
RUN 3	92%(1 day of curing)	95%(15 days of curing)	97%(30 days of curing)
Pyrene	89%(10 ppm)	92%(50 ppm) Growth stop after germination	9%(100 ppm) Remarkable germination decrease

**Table 3.** Content of heavy metals(ppm) and salinity in the final compost.

	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Cd	Pb	Ni	Total salinity conc.
RUN 1	1880	710	255.5	5650	416.5	174	3.5	13.1	0	0	0	0	0.9%
RUN 2	2365	1065	356.1	9600	432	51.5	3.3	11.8	0	0	0	0	1.3%
RUN 3	1850	1300	230	4720	722	26	1.2	30	0	0	0	0	0.8%

**Table 4.** Variations of C/N ratios in the courses of composting.

	Initial C/N ratio	Final C/N ratio	Increase value
RUN 1	28.75	41.34	12.59
RUN 2	21.91	51.32	29.41
RUN 3	16.77	30.17	13.40

아지는 것이 일반적이다. 음식물 쓰레기 퇴비화에서 주방폐기물의 퇴비화인 경우 용해성 C/N비가 초기에 13.9와 16.0에서 퇴비완성 후 5.72, 15.8로 변화하는 것을 확인한 연구가 있었는데(14), 본 실험에서의 C/N비는 Table 4에서와 같이 상반된 결과를 도출하였다. 그것은 톱밥 사용으로 인한 결과로서 음식물 쓰레기와 톱밥의 분해속도 및 분해시기가 현저히 다르기 때문이다. 실험 초기에 음식물 쓰레기의 탄소 및 질소 성분이 거의 분해되고, 퇴비가 진행될수록 대부분 탄소로 구성된 톱밥 성분만이 남아 있어 C/N비 증가로 나타났다.

## 고 찰

### RUN 1~RUN 3에서 교반과 유입공기량 변화에 따른 퇴비화

교반은 공기의 공급을 저해하는 다짐현상을 방지할 뿐 아니라 연속식 반응조의 경우에는 퇴비를 이송시키는 역할도 한다. 반면에 잦은 교반은 퇴비의 온도를 저하시켜 분해 속도를 감소시킬 뿐 아니라 필요이상의 동력소모를 초래하므로 적절한 교반횟수의 산정은 중요하다(3). 본 실험에서는 RUN 1에서 12시간 간격으로 약 5분간, 0.5 rpm으로 교반하였고, RUN 2, 3에서는 0.5 rpm으로 지속적으로 교반하였다.

유입 공기량에서는 RUN 1의 경우 22.7 L/min로 고정하여 주입하였고, RUN 2, 3에서는 퇴비속 온도를 50℃로 유지하기 위해 수시 조절하였다. 즉 10 L/min로 출발하여 온도 상승이 뚜렷하면 15 L/min, 20 L/min으로 상향 조정하고, 온도상승이 둔화되거나 온도가 내려갈 때는 15 L/min, 10 L/min으로 낮추어 주었다. 이때 반응기 내부 산소 농도는 7% 이하가 되지 않도록 하였다. 또한 온도 상승을 위해 따로 가온하지는 않았다. 이것은 통기량을 조절하여 60℃로 온도를 유지하였을 때 온도조절을 하

지 않았을 때보다 많은 열량발생 및 유기물 분해가 일어난 연구 결과로 인해 증명된 바 있다(15, 16).

교반과 유입공기량에 대한 실험 결과, 지속적으로 교반하고, 온도 및 산소 농도에 따라 유입공기량을 조절한 RUN 2, 3가 RUN 1보다는 빠르게 퇴비화 되었는데, 그것은 퇴비의 형태와 색에서 뚜렷하게 나타났다. 일반적으로 퇴비가 완성되어 갈수록 형태와 색이 변화하는데, 형태는 초기 원료의 구분이 어려워지고, 잘게 부수어져 당초 무슨 재료로 퇴비화 했는지 구분하기가 어려워지고, 색은 검은색으로 변화한다.

RUN 1의 경우, 퇴비 3일째 큰 덩어리가 없어지기 시작하여 7일째 음식물 덩어리가 거의 사라졌다. 퇴비색깔 변화는 밝은 황색의 퇴비원료에서 퇴비 8일째 퇴비색이 검어지기 시작하여, 퇴비 11일째 퇴비색이 완전히 검어졌다.

RUN 2와 RUN 3의 경우는 퇴비 시작과 동시에 빠르게 변화하였는데, 형태는 반응기 운전 1일 경과 후 이미 음식물 형태를 알아볼 수 없는 톱밥만 남은 상태였으며, 색깔 변화 역시 하루 만에 뚜렷하게 변화하여 검은색을 띄었다.

### RUN 1~RUN 3에서 접종 유무에 따른 퇴비화

퇴비화에서 접종으로 인한 영향은 균주 첨가가 퇴비화를 촉진시킨다는 연구 결과도 있었으나, 또한 효과가 없다는 보고도 있었다(17). 접종유무에 대한 변화를 알아보기 위하여 RUN 1, 2에서는 접종하지 않았고, RUN 3에서는 완성된 퇴비를 10% 접종하였다. CO<sub>2</sub> 배출 농도와 휘발성 물질(VS)의 감소량에서는 접종의 RUN 3이 접종하지 않은 RUN 1, 2보다 더 높았다. 그러나 온도 상승, pH 변화, 미생물 개체수에서는 뚜렷한 접종 효과를 찾아보기 어려웠다.

### RUN 1~RUN 3의 휘발성유기물(VS) 감소량으로 본 퇴비화

본 실험에서 휘발성유기물은 RUN 1, 2, 3에서 각각 1.5%, 1.6%, 7.4% 감소하였는데, 이것은 퇴비 원료로 사용한 음식물 쓰레기와 톱밥의 초기 휘발성 유기물 함량이 높고, 완성된 퇴비는 대부분 톱밥만 남은 상태에서 톱밥의 휘발성 유기물의 함량이 높아서 그 변화가 크지 않다. 만약 음식물 쓰레기를 따로 샘플링 할 수 있다면, 휘발성 유기물 감소량이 높을 것으로 사료된다.

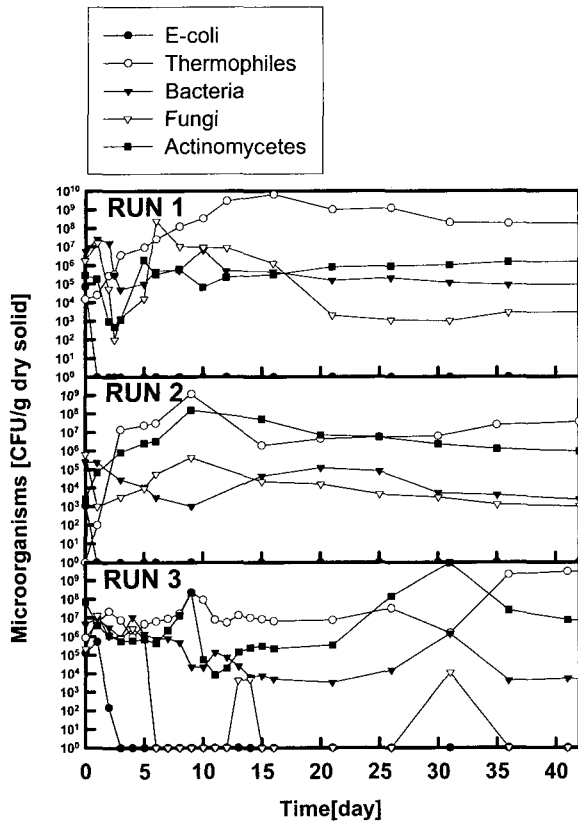


Figure 8. The number of microorganisms in the courses of composting RUN 1~3.

**RUN 1~RUN 3의 pH 상승 시기로 본 퇴비화**

pH 변화는 퇴비 재료에 따라서 다르게 나타난다. 우분 퇴비화 가 pH 8.5 이상의 알칼리에서 출발하여 퇴비 40일 경과 후 pH

Table 5. Variations of pH in the courses of composting.

	Initial pH	Maximum pH	Increase value	Sudden rise period of pH
RUN 1	5.0	8.7	3.7	8~12 day
RUN 2	4.1	8.9	4.8	3~7 day
RUN 3	5.0	9.1	4.1	4~8 day

7.8 정도로 떨어진 것(18)과는 달리, 본 실험에서는 음식물 쓰레기와 톱밥을 퇴비화 원료로 사용하였기 때문에 초기에는 유기산으로 인한 산성 영역이 나타나고, 점차 알칼리로 상승하였다. pH 변화로 퇴비화 정도를 알 수 있었는데, pH 급상승 시기가 되면 음식물 성상 제거는 물론, 냄새제거, 퇴비의 색깔도 이미 검은색으로 변해있었다. 본 실험에서는 급속한 pH 상승 시기 이후에도 반응기를 계속 가동하여 변화추세를 살펴보았으나, 큰 변화는 없었다. pH의 급상승 시기를 비교해 보면, 지속적으로 교반하고, 온도와 산소농도에 맞추어 공기 유량을 조절한 RUN 2와 RUN 3의 실험에서 RUN 1의 경우보다 pH 상승이 빨랐다 (Table 5).

**본 연구에서 개발한 장치와 타 장치와의 비교**

본 연구에서 개발한 장치와 타 퇴비 장치를 비교하여 Table 6에 나타내었다. 본 연구 개발 장치는 450 L로서 비교적 큰 용량이고, 유입 공기량으로 온도와 산소 농도를 조절한다는 것이 다른 장치와의 차이점이다. 반응기 조건은 Compost 1과 Compost 3은 반회분식이고 그 외의 장치는 회분식이며, 원료 성분에서는 Narayan을 제외하고 모두 음식물 쓰레기를 퇴비화 한 장치이다. Narayan은 미국의 생활쓰레기로서 생분해성 플라스틱, 작은 잔디, 종이 등을 퇴비화 장치이다. 회분식이고 음식물 쓰레기를 대상으로 퇴비화 한 Compost 2가 본 실험 장치와 가장 유사한 경

Table 6. Comparison of this work with other composting results.

	Compost1(19)	Compost2(20)	Compost3(21)	Narayan(22)	This work RUN 3
Operation type	semi-batch	batch	semi-batch	batch	batch
Reactor volume	27 L	20 L	30 L	60 L	450 L
Inlet air control	o	o	o	o	o
Temperature control	o	x	o	x	o
Raw material	food waste	food waste	food waste	living waste	food waste
Bulking agent	-	sawdust, compost	sawdust	wood chip	sawdust, compost
Reactor operation time	14 days	12 days	65 days	38 days	16 days
Final C/N ratio	-	x	9.8	16.9	30.2
Final pH	5~6	8.7	8.8	7	8.5
Period above 50°C	-	5 days	0 day	8.3 days	3.5 days
Germination test	-	-	-	-	97%
Final moisture content	40%	41.3%	46%	74%	50%
Agitation speed	2rpm, continuous	2 times/day	0.25rpm	1 time/week	0.5 rpm, continuous
Air flow rate	2 L/min · kg over	5.0 L/min · kg	15 L/min	controlled according to Temp. & O <sub>2</sub>	controlled according to Temp. & O <sub>2</sub>

우로서, 본 연구의 퇴비화 반응기의 용량이 Compost 2의 20배 이상임에도 불구하고 퇴비 반응기 운전일수는 비슷하였다. 이것으로 본 연구의 퇴비화 반응기의 우수함을 확인할 수 있다.

**결 론**

퇴비화 반응기 운전에서 반응기의 용량과 퇴비 원료 물질에 따라 최적 운전 조건은 달라진다. 본 논문에서는 용량 450 L 반응기에 음식물 쓰레기를 재활용하기 위한 퇴비화를 시도하였다.

RUN 1, RUN 2, RUN 3 모두 퇴비화에 성공하였고, 완성된 퇴비는 독성이 없는 것으로 판명되었다. 본 실험에 사용한 퇴비화기는 지속적으로 교반하고 온도에 따라 유입 공기량을 조절하였을 경우가, 1일 2회 교반하고 유입 공기량을 일정하게 유지하였을 경우보다 좀 더 빠른 퇴비화를 유도할 수 있었다. 유해 미생물 및 잡초 씨앗 등을 사멸하기 위한 2~3일 이상의 고온의 유지는 모든 실험에서 자체 발열을 통하여 달성되었다. 본 실험에서 접종 유무에 따른 결과는 CO<sub>2</sub> 배출 농도와 휘발성 물질(VS)의 감소량에서는 접종한 RUN 3이 접종하지 않은 RUN 1, 2보다 더 높았다. 그러나 온도 상승, pH 변화, 미생물 개체수에서는 접종 효과를 찾아보기 어려웠다.

**요 약**

용량 450 L의 음식물 쓰레기 퇴비화 장치를 설계하여, 유입공기량, 교반, 접종 조건에 변화를 주어 퇴비화 장치의 성능을 실험하였다. RUN 1은 1일 2회 5분간 교반하고, 유입공기량을 22.7 L/min로 고정하였다. RUN 2, 3에서는 지속적으로 교반하고, 유입공기량은 퇴비내부의 온도를 50℃ 이상 유지하고, 또 산소농도를 7 mol% 이하로 떨어지지 않도록 10 L/min, 15 L/min, 20 L/min으로 수시로 조절하였다. RUN 3는 접종효과를 보기 위하여 퇴비에 완성된 퇴비를 10 wt% 접종하여 RUN 1, 2와 비교하였다.

지속적으로 교반하고, 온도와 산소 농도에 따라 유입공기량을 조절한 RUN 2와 3에서 RUN 1보다 더 빠른 퇴비화가 이루어졌다. 그리고, CO<sub>2</sub> 농도와 휘발성 유기물 감소에서는 접종한 RUN 3가 RUN 1, 2보다 높았으나, C/N 비, pH 변화, 미생물 개체수에서는 뚜렷한 접종효과가 나타나지 않았다.

**감 사**

본 연구는 1998년도 영남대학교 생산기술연구원의 연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

**참 고 문 헌**

1. 부패성 쓰레기 분리 수거 및 적정 처리 방안 조사 연구 보고서, 환경처 (1992).
2. Hang Sik Shin, *et al.* (1993), Mixing ratio of bulking agent for moisture content and C/N ratio control in garbage composting, The third NTU-KU-KAIST tri-lateral seminar/work

- shop on civil engineering, KAIST, Taejon, Korea.
3. Luis F. Diza, *et al.* (1993), Compost and Recycling municipal solid waste, Lewis publishers.
4. Rabbani, K.R., Jindal, R. and Kubota, H. (1983), Composting of Domestic Refuse, Environmental Sanitation Review, NO. 10/11, Environmental Sanitation Information Center. Bangkok, Thailand.
5. Nakasaki, K. and Akiyama K. (1988), Effect of seeding on thermophilic composting of household organic waste, *J. Ferment. Technol.*, **66**, 37-42.
6. Suler, D. J. and Finstein, M. S. (1977), Effect of temperature, aeration, and moisture on CO<sub>2</sub> formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste, *Appl. Environ Microbiol.*, **33**, 345-350.
7. Nakasaki, K., Yaguchi, H., Sasaki, Y. and Kubota, H. (1992), Effect of C/N Ratio on thermophilic composting of garbage, *J. of Ferment. Bioengineering*, **73**, 43-45.
8. Kubota, H. and Nakasaki, K. (1991), Accelerated thermophilic composting of garbage biocycle **32**, 66-68.
9. 사단법인 한국폐기물학회 (1995), 폐기물처리 기술과 재활용, 동화기술, 390-426.
10. Bhat, J. V., M. V. (1949), A suitable medium for the enumeration of the microorganism in soil, *J. Univ. Bombay. Sect. B.*, **13**, 13-15.
11. Maier, C. R. (1961), Effect of soil temperature and selected crop residues on the development and severity of Fusarium root rot of bean.
12. Hsu, S. C., Lockwood, J. L. (1975), Powdered chitin agar as a selective medium for enumeration of *Actinomycetes* in water and soil, *Appl. Microbiol.*, **29**, 422-426.
13. Difco laboratories (1953), Difco manual of dehydrated culture media and reagents for microbiological and clinical laboratory procedures, Difco laboratories, 9th ed.
14. V. Chanyasak, H. Kubota (1981), Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of composting degradation, *J. Ferment. Technol.*, **59**, 215-519.
15. M. S. Finstein, F. C. Miller, P. F. Strom (1986), Monitoring and evaluating composting process performance, *J. Wat. Pollut. Control*, **58**, 272-278.
16. G. A. Kuter, H. A. J. Hoitink, L. A. Rossman (1985), Effects of aeration and temperature on composting of municipal sludge in a full-scale vessel system, *J. Wat. Pollut. Control*, **57**, 309-315.
17. Goluecke, C. G. (1977), Biological reclamation of solid wastes, Rodole Press, Emmaus, PA.
18. 김윤석, 강명규, 배경숙, 이규승, 이영하 (1997), 우분 퇴비화의 주발효과정 중 이화학적 및 미생물학적 파라미터의 변화, *한국미생물학회지*, **33**(4), 267-273.
19. 신항식, 황응주, 정연구, 강석태, 정윤진 (1996), 음식물찌꺼기 간이퇴비화의 적정 운전조건에 관한 연구, *한국미생물학회지*, **13**(2), 202-210.
20. 윤하연, 유기영, 박후원, 김갑수, 유명진 (1994), 음식물 쓰레기 호기성 퇴비화 시설의 설계변수 및 운전조건 도출에 관한 연구, *한국폐기물학회지*, **11**(3), 377-387.
21. 황응주 (1998), 소규모 음식물찌꺼기 퇴비화기의 성능 평가 및 효율 개선, 한국과학기술원 토목공학과 박사학위논문.
22. Steven Bloembergen, Julie David, David Geyer, Amy Gustafson, Joe Snook, and Ramani Narayan (1994), Biodegradation and composting studies of polymeric materials, biodegradable plastics and polymer, Y. Doi and K. Fukuda(editors), 601-609.