

온도변화에 따른 음식쓰레기의 반응특성에 관한 연구

허 관* · 신대윤

*순천공업전문대학 환경공학과, 조선대학교 환경공학과

A Study on the Reaction Characteristics of Food Garbage by the Variations of Temperature

Kwan Hu* and Dae Yewn Shin

*Dept. of Environmental Engineering, Sooncheon Technical Junior College
Dept. of Environmental Engineering, Chosun University

ABSTRACT

The utilization of food garbage as composting was investigated by using the batch reactor and by varying the initial temperature of the fermentation reactors. As the straw controlled under 50 to 55% of moisture content and mixed 5% of EM(Effective Micro-organisms) microbial agent. An agitator continuously operated 1 rpm, supplying the amount of air(2 l/kg.min). Reactor temperature changed three type of 40°C, 50°C, 60°C. In the case of 50°C operated 72 hr after organic contents showed lowest 48%, and weight reduction rate of showed 77%. The reaction gas was showed 30 min after 19.9% of the lowest level at 20.9% concentration of oxygen and CO₂ gas was produced 0.9% due to organic disintegration on initial react time. NH₃, H₂ and CH₄ gas concentration showed 589 ppm 1hr after, 83 ppm and 0.3%, but 8hr after gas product was complete. As using the straw of bulking agent, the Reduction by disintegration should be more effectively than composting.

Keywords : Food garbage, Composting, Fermentation reactors, EM microbial agent

I. 서 론

우리나라의 음식쓰레기 발생량은 하루 15,000톤으로 전체 생활쓰레기의 31.6%를 차지하고 있다. 이러한 음식쓰레기의 42%는 음식점에서, 41%는 가정에서 발생되며, 전체 음식쓰레기 중에서 채소류가 53.1%를 차지했으며, 발생량의 95.4%는 매립되고 나머지 2.1%만이 재활용되고 있다. 음식쓰레기는 80~85%의 높은 수분함량과 쉽게 부패하는 특성 때문에 수거·운반시에 오수 및 악취 등으로 작업에 지장을 초래하며 매립할 경우에도 침출수에 의해서 주변지역에 대한 지하수와 토양오염 등의 문제점을 지니고 있다. 그리고 약 3%에 이르는 염분함량도 외국의 음식쓰레기에 비해 훨씬 높아 퇴비를 만드는데 장애물로 작용하고 있다. 이러한 음식쓰레기의 처리 및 재활용 방안은 환경오염문제의 발생과 유용한 유기성자원의 낭비라는 관점에서 중요한 과제이다.

음식쓰레기의 처리는 미생물에 의한 퇴비화·소멸화가 바람직한 것으로 알려져 있으며 많은 관심의 대상이 되고 있다. 최근 국내에서도 퇴비화·소멸화장치가 개발되어 약 20여종이 제작, 판매되고 있으며, 일부 자치단체에서는 공동퇴비장을 설치하여 다량 발생하는 음식쓰레기를 별도 수거하여 퇴비화 하는 등의 음식쓰레기의 자원화가 활발히 진행되고 있다.

퇴비화 및 소멸화 과정은 미생물의 유기물 분해반응에서 비롯되며 대부분 개발된 장치도 처리공정에는 차이가 있으나 미생물 균주를 첨가하는 방법을 사용하고 있다. 이와 같이 미생물의 대사작용에 의해서 음식쓰레기를 퇴비화 또는 소멸화하기 위해서는 제반 환경조건을 최적으로 유지하여야 한다. 외국의 경우는 퇴비화와 관련된 운전인자인 pH, 온도, 함수율, 입자크기, 공기량(산소농도), C/N비, Bulking agent의 유무, 교반 등에 대한 많은 연구 결과가 이론적으로 제시되어 있으나, 우리의 경우는 미흡

한 실정이며 우리나라 특유의 음식문화를 고려할 때 음식쓰레기를 퇴비화하기 위해서는 제반 운전인자의 연구가 활발히 이루어져야 할 것이다.

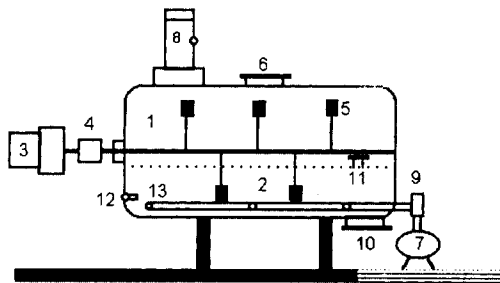
따라서, 본 연구에서는 회분식 반응기를 이용하여 음식쓰레기와 미생물재료를 혼합하고 퇴비화의 제반조건을 일정하게 유지시킨 상태에서 초기온도만을 변화시키면서 반응특성을 연구함으로써 퇴비화 장치의 최적 운전온도와 반응완료 시점을 제시하는데 주안점을 두었다.

II. 실험장치 및 분석방법

1. 장치 및 재료

실험에 사용된 퇴비화장치는 Fig. 1과 같이 제작하였으며, 유효용적을 67 l(ϕ 400×600)의 원통형으로 하였다.

본 장치는 내부 반응물의 원활한 혼합을 위해서 회전축에 부착한 4열의 교반자는 1/2 마력의 감속모터를 사용하여 가동하였고, 교반기의 운전·정지주기와 회전속도를 조절할 수 있도록 timer와 inverter를 부착하였으며, 정·부방향의 회전선택이 가능하도록 하였다. 반응기 내부에 호기적조건을 유지토록 하기 위해서 공기공급은 air compressor와 nozzle을 이용하



- | | | |
|-------------------|--------------------|------------------------|
| 1. Reactor | 2. Water bath | 3. Reduction motor |
| 4. Inverter | 5. Mixing impeller | 6. Sampling port |
| 7. Air compressor | 8. Exhaust duct | 9. Air flow controller |
| 10. Outlet | 11. Water inlet | 12. Electric heater |
| 13. Air nozzle | | |

Fig. 1. Schematic diagram of laboratory-scale composting reactor system.

고 flow meter로 공기량을 제어하는 강제통풍방식을 택하였다. 반응기 상부에는 시료의 투입구를 설치하고 수분의 제어와 반응가스의 배출 및 측정을 위해서 배기duct와 측정구를 설치하였으며, 노출된 부분은 보온하였다. 반응기 하부의 water bath에는 전기히터 및 온도센서를 설치하고 자동온도조절기를 연결하여 수욕조를 가온함으로써 반응기의 초기온도를 조절하였다. 외부 가온과 발효열에 의한 반응기 내의 온도변화는 thermocouple과 온도기록계를 설치하여 측정하였다.

2. 실험조건

본 실험은 음식쓰레기를 발효미생물을 이용하여 퇴비화하는데 필요한 반응기의 제반 운전조건을 동일하게 유지시키고 초기온도를 변화시키면서 반응기의 최적온도와 반응완료 시점을 제시하기 위한 실험이다. 공기주입량은 통기성이 최적에 가깝게 조절된 퇴비화 조건에서는 0.4~1.0 l/kg·min정도^{2,3)}이고, 일반적인 유기성 음식쓰레기의 조건에서는 2 l/kg·min이상⁴⁾으로 제시하고 있으나, 본 실험에서는 2 l/kg·min의 공기량을 공급하였다. 교반속도는 1~2 rpm 정도로 간헐적인 교반이 행해지고 있으나, 본 실험에서는 통기성 확보를 위해 감속기 motor와 inverter를 이용하여 1 rpm으로 연속 운전하였다. 실험조건은 Table 1과 같다.

3. 분석방법

본 실험에서는 퇴비화 반응의 진행 정도와 효율을 나타내는 지표로서 유기물질함량, 수분함량 및 C/N비의 변화를 분석하였으며, 반응특성을 판정하기 위해서 배출가스 중의 산소, 탄산가스, 암모니아, 수소, 메탄가스를 측정하였다. 또한 반응에 따른 환경 조건의 변화를 나타내는 지표로서 pH와 온도를 측정하였다. 시료는 폐기물공정시험법에 준하여 분석⁵⁾하였으며, pH의 분석은 1g의 시료와 정제수에 염산을 넣어 pH 5.8~8.6으로 조절한 용매 10 ml를 cap tube에 담아 진탕시키고 원심분리를 한 후 상등액을 검액으로 하여 pH meter로 측정하였다. 수분함량은

Table 1. Experimental conditions

Exp · No	Reaction temperature	Agitation speed	Seeding	Aeration rate	Agitation cycle
1	40°C	1 rpm	EM	2 l/kg·min	Continuation
2	50°C				
3	60°C				

110°C에서 4 hr 동안 건조하고 건조전후 질량 차로부터 구하였으며, 유기물함량은 건조된 시료를 600°C에서 2시간 동안 태운 후의 강열감량으로 측정하였다. C/N비는 CHN Analyzer로 측정하였고, 배출가스는 MX-21 가스검출기와 GA-94A1 가스분석기를 사용하여 측정하였으며, 반응기 내의 온도변화는 thermocouple로 check하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 음식쓰레기의 성상

연구에 이용된 음식쓰레기는 C고등학교 기숙사에서 배출된 것으로 잔밥통 내의 혼합찌꺼기를 채로 걸러 고액 분리한 후 고형성분의 음식쓰레기를 자연 탈수시켰으며, 육류뼈나 고막껍질 등의 단단한 이물질은 수작업으로 분리하였다. 주성분이 채소, 육류, 어류, 밥, 라면 등인 음식쓰레기의 수분함량 조절은 벗짚을 사용하여 흡수율이 50~55%가 되도록 음식쓰레기 4.5 kg과 톱밥 1.5 kg를 혼합하여 투입하였다.

균주로 사용된 EM미생물제제는 쌀겨, 비지, 녹아 및 깻묵에 액상의 EM을 배합하여 혐기성 상태에서 10일간 발효한 다음 건조시켜 사용하였으며, 미생물제제 투입량은 음식쓰레기 혼합물 전체분량의 5%에 해당하는 300 g를 혼합하여 초기에 투입하였다. 이러한 음식혼합물을 퇴비화장치에 투입한 회분식 반응실험에서 운전초기부터 72 hr 동안의 반응특성을 분석하기 위해서 주기적으로 발효품을 인출하여 분석하였다. 본 실험에 사용된 음식쓰레기의 특성은 Table 2와 같다.

2. 온도변화에 따른 퇴비화 지표변화

Fig. 2~11은 퇴비의 일반적인 지표인 반응온도, pH, 수분함량, 유기물함량, C/N비 및 반응가스 농도를 기준으로 반응기의 초기온도 변화에 대한 음식쓰레기 퇴비화 반응특성을 나타내었다.

(1) 반응온도 변화

Fig. 2는 반응기에서의 온도의 변화를 나타내었다. 퇴비화과정에서 열의 발생은 대부분 생물화적인 반응에 의한 것으로 온도의 상승과 하강은 유기물의

분해정도를 나타내는 지표로 이용된다. 반응기의 초기온도를 변화하면서 실시한 실험 세 종류 모두 투입초기 15 min 동안은 음식쓰레기의 흡열로 인해서 온도가 낮아지다가 30 min이 지나면서 외부기온과 반응열의 영향으로 초기온도 범위를 상회하기 시작했다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우에는 반응 후 8 hr에 최고온도인 46°C에 도달하여 72 hr 동안 일정한 온도를 유지하였다. 50°C의 경우는 온도가 급속히 증가하여 반응 1 hr후에 최고온도인 60°C에 도달하였으며, 16 hr후 서서히 하강하였다. 60°C의 경우에는 반응 12 hr후에 최고온도인 68°C에 도달하였으며, 56 hr이 되면서 초기온도로 낮아졌다. 이상의 세 가지 조건중 반응기의 초기온도가 50°C인 경우 가장 빠르게 최고온도에 도달한 것은 발효미생물의 활성이 촉진되어 반응열 상승으로 이어졌음을 알 수 있다. 40°C의 경우는 최고온도에 도달한 이후 반응온도가 지속된 것은 유기물의 1차분해가 서서히 진행된 결과로 판단된다. 60°C의 경우는 최고온도에 도달한 12 hr까지 미생물 분해가 이루어졌으나, 이후에는 외부 기온에 의한 조건이 주도적인 영향을 미친 것으로 나타났다. 실험결과 중온성미생물군은 40°C이상의 온도에서 활동이 억제되고 60°C이상이 되면 각종 고온성미생물군의 적정 온도를 초과하게 되어 50°C후반이 가장 분해에 적합하다는 이론과 일치하였다.^{6,7)} 세 종류의 반응 실험에서 병원성균의 사멸온도인 60~70°C까지 상승되지 못한 것은 공기의 과잉공급과 반응기의 연속적인 교반에 의해서 반응열이 축적되지 못하고 확산된 결과로 판단된다.

(2) pH 변화

반응기에 투입되는 음식쓰레기의 pH는 조절하지 않았으며, 분해과정 중의 pH변화는 Fig. 3에 나타내었

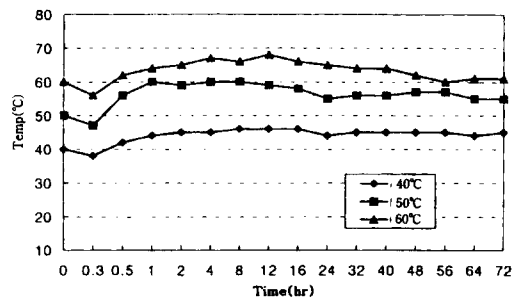


Fig. 2. Variations of temperature during composting of garbage in temperature control experiments.

Table 2. Characteristics of the food waste

Solid (%)	MC (%)	VS (%)	pH	TOC (mg/l)	TKN (mg/l)	C/N
20.0	80.0	76.2	4.7	60.1	4.8	23.6

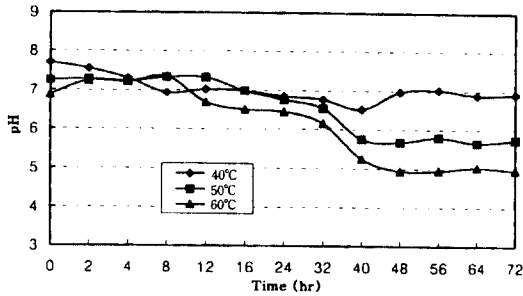


Fig. 3. Variations of pH during composting of garbage in temperature control experiments.

다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우 초기 pH가 7.70에서 퇴비화 진행 후 40hr까지는 6.52로 낮아졌으나 이후 상승하여 72hr에는 6.91이 되었다. 50°C의 경우에는 초기의 pH가 7.25에서 서서히 낮아졌으며, 72hr에는 5.74로 되었다. 60°C의 경우에는 초기의 pH가 6.88이었으나, 퇴비화가 진행되면서 8hr에는 7.35로 상승하였으며, 72hr 후에는 4.96이 되었다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우 초기에 유기산 생성으로 pH가 낮아지다가 48hr후에 상승한 것은 유기산의 산화와 질소산화물의 분해가 원활히 이루어진 것으로 판단된다. 50°C의 경우는 초기 pH가 12hr까지 일정하게 유지되다가 낮아지는 것은 약알카리성 상태에서 반응초기에 유기물분해가 촉진된 것으로 판단되며 유기물의 분해가 대부분 완료되면서 pH가 수분조절제인 벧짚의 pH(5.11) 범위로 나타났다. 60°C의 경우는 초기의 pH가 약간 상승하다가 낮아진 것은 호기적인 상태에서 유기물 중의 아미노산 등의 질소산화물의 분해가 촉진된 것으로 판단되며, 이후 유기물의 1차분해 완료와 건조에 의해서 벧짚의 pH범위를 나타낸 것으로 판단된다. 초기 pH와 수분함량이 동일하게 조절하지 않았기 때문에 온도변화에 따른 pH의 변화 추이를 판단하기는 미흡했으나, 배출가스 농도 등의 변화를 고려했을 때 초기 pH의 변화가 반응특성에 별로 영향을 주지 않은 것으로 나타났다.

(3) 수분함량 변화

퇴비화과정 중의 수분함량변화는 Fig. 4와 같이 나타났다. 퇴비화에 있어서 미생물세포는 생리학적 으로 물을 필요로 하며 최적활동은 산소의 이용을 저해하지 않는 최대수분함량에 의해 달성된다. 본 실험에서는 음식쓰레기에 수분조절제를 혼합하여 반응물의 수분함량이 50~55%가 되도록 조절하였

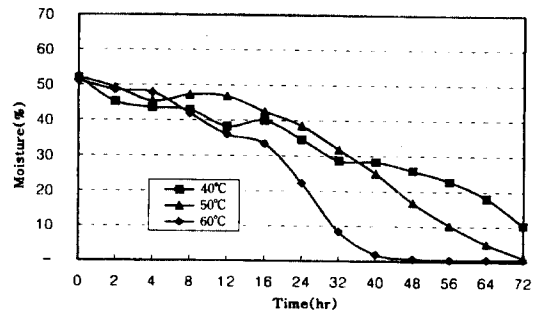


Fig. 4. Variations of moisture during composting of garbage in temperature control experiments.

다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우에는 반응 12 hr후 수분함량이 40%이하로 감소되었고, 72 hr후에는 10.4%로 감소되었다. 50°C의 경우에는 반응 24 hr후 수분함량이 40%이하로 감소되었고, 72 hr 후에는 1.1%로 나타났다. 60°C의 경우에는 4 hr 후에 수분함량이 40%이하로 감소하였고, 72 hr 후에는 0.6%로 나타났다. 반응기를 72 hr 운전한 경우의 중량감소율은 50°C의 경우 77%로 가장 크게 감소하였으며, 60°C의 경우가 75%, 40°C의 경우가 67%의 순으로 나타났다. 40°C로 운전한 경우 반응초기 12 hr까지 수분함량 감소가 서서히 일어난 것은 생물학적 반응에 의한 생성수 보다 반응열에 의한 수분의 소모가 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 수분함량이 40%이하로 되면서 미생물의 활성이 떨어짐에 따라 pH가 낮아진 것으로 나타났다. 50°C의 경우에는 반응 2 hr 이전에 수분함량이 급격히 감소한 것은 미생물이 활성화됨에 따라 반응열이 수분증발을 촉진시킨 결과로 판단되며, 수분함량이 40%이하로 감소한 24 hr 후에는 유기물의 분해가 대부분 완료되어 건조에 의한 수분함량 감소로 판단되며, pH는 벧짚의 범위를 나타내고 있다. 60°C의 경우에는 반응 40 hr까지는 고온미생물의 반응열과 건조에 의해 수분함량이 감소했으며, 이후 반응물의 pH는 벧짚의 범위를 나타내면서 수분함량이 지속적으로 감소하는 것은 건조에 의한 영향으로 판단된다.

(4) 유기물함량 변화

유기물함량 변화는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 세 종류 시험방법 모두 반응 초기에 유기물감소가 크게 나타났다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우 유기물함량이 반응초기에 84.1%이었으나, 12 hr 후에는 62.1%로 크게 감소하였으며, 72 hr에는 56.6%로 나타났다. 50°C의 경우에는 반응초기 85%이었으

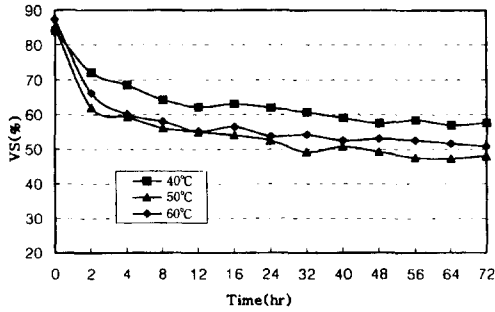


Fig. 5. Variations of VS during composting of garbage in temperature control experiments.

나 2 hr 후에는 62%로 급감하였으며, 72 hr에는 48%로 나타났다. 60°C의 경우는 반응초기 87.3%가 4 hr이 지나면서 60.1%로 감소하였으며, 72 hr 후에는 50.8%를 나타냈다. 유기물함량의 변화는 시간이 경과함에 따라서 감소하고 있으며 전반적으로 반응 2hr 이내에 유기물함량의 감소가 크게 나타난 것은 음식쓰레기 중에 포함된 지방, 단백질, 탄수화물 등의 미생물분해가 용이한 유기물이 신속히 분해되었으며, Lignin 등의 난분해성 물질은 서서히 분해되고 있음을 알 수 있다. 유기물함량의 감소율이 60°C의 경우가 50°C의 경우보다 적게 나타난 것은 고온에 의한 미생물수의 감소로 판단된다. 음식쓰레기와 볏짚의 혼합물은 반응초기에 급속히 분해되어 음식물의 형태를 발견할 수 없을 정도로 대부분 제거되었으나, 수분조절제로 사용된 볏짚은 반응 72 hr후에도 일부 껍질만이 분해되었을 뿐 원형상태를 그대로 유지하였다. 볏짚을 Bulking agent로 사용한 음식쓰레기의 처리는 퇴비화보다는 소멸화를 통한 감량화가 효과적일 것으로 판단된다.

(5) C/N비 변화

퇴비화기간 동안의 C/N비 변화는 Fig. 6과 같이 온도조건에 따라 변화추이가 다양하게 나타났다. C/N비는 미생물의 분해대상인 유기물의 특성을 나타내는 것으로 미생물의 단위 개체당 먹이가 어느 정도 공급되고 있는가를 나타내는 척도이다. 보통 C/N비는 퇴비화 과정을 거치면서 감소하는 것으로 알려져 있는데 본 실험에서는 반응기의 초기온도를 40°C와 60°C로 운전한 경우에 C/N비가 상승하였다. 초기 C/N비가 낮은 슬러지나 음식쓰레기 등이 퇴비화 과정에서 C/N비가 증가하는 것은 고온에서의 질소손실이 유기물분해를 보다 클 때 또는 퇴비물질 내에 상대적으로 안정한 상태의 탄소화합물과 분해

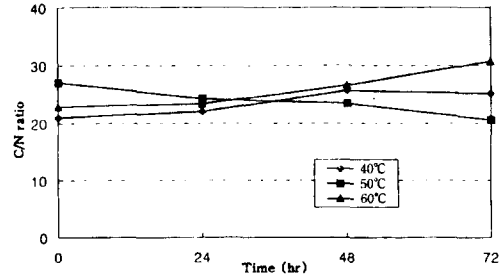


Fig. 6. Variations of C/N ratio during composting of garbage in temperature control experiments.

용이한 질소화합물을 함유할 때 나타날 수 있다.⁸¹ 본 실험 중에서 초기온도를 40°C와 60°C로 운전한 경우 볏짚 내에 존재하는 Cellulose, Lignin 등의 난분해성 물질이 다량 포함되어 대사에 의한 탄소화합물의 분해속도 보다도 질소화합물의 소모나 손실속도가 크게되어 상대적으로 C/N비가 상승한 것으로 판단된다. 그러나 50°C의 경우는 퇴비화가 진행되면서 탄소화합물의 분해속도가 질소화합물의 소모나 손실속도 보다 더 크게되어 C/N비가 감소한 것으로 나타났다.

(6) O₂농도 변화

퇴비화 배출gas 중의 O₂농도 변화는 Fig. 7에 나타냈으며, 반응기의 초기온도를 변화시키면서 운전한 결과 배출가스 중의 산소는 세 종류 시험방법 모두 반응초기에 소모가 크게 나타났다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우 배출가스 중의 산소농도는 반응 15 min 후에 20.9%에서 20.5%로 최저를 나타냈으나, 이후 상승하여 72 hr에는 20.6%를 나타냈다. 50°C의 경우는 반응 30min에 19.9%로 최저를 나타냈으나, 72 hr에는 20.7%로 상승했다. 60°C의 경우는 반응 15 min 후에 20.6%로 감소했으나, 72 hr 후에

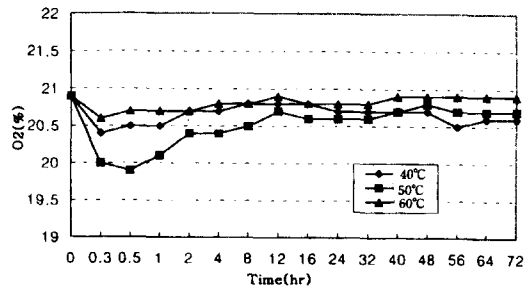


Fig. 7. Variations of O₂ during composting of garbage in temperature control experiments.

는 20.9%를 나타냈다. 반응가스 중의 산소의 유지는 이용속도와 공급속도에 의해 결정된다. 본 실험에서 반응가스 중의 산소농도가 전반적으로 음식쓰레기를 반응기에 투입한 후 30 min 이전에 크게 감소한 것은 기질의 높은 밀도와 쉽게 이용할 수 있는 성상 때문에 반응초기에 이용속도가 빨라졌음을 알 수 있다. 반응기 내의 산소농도가 12~14%로 낮아질 때 발열속도가 떨어지고 15~20% 사이로 유지될 때 미생물의 활동이 가장 왕성하였다는 보고^{9,10)}와 비교하면 산소는 충분히 공급되었다. 본 실험의 결과 반응기의 초기온도를 50°C로 운전한 경우 산소농도가 가장 크게 감소한 것으로 나타난 것은 미생물활성의 차이로 인해서 유기물의 분해속도가 더 빠르게 축적된 것을 알 수 있으며, 60°C의 경우 산소농도의 감소가 적게 나타난 것은 고온으로 인해서 미생물수가 감소됨에 따라 유기물분해 속도가 늦었던 것으로 판단된다.

(7) CO₂농도 변화

배출가스 중의 CO₂농도 변화는 Fig. 8에 나타냈으며, 반응기의 초기온도를 변화시키면서 운전한 결과 배출가스 중의 이산화탄소는 세 종류 시험방법 모두 반응 4 hr 이전에 생성하였고, 그 이후에는 거의 발생하지 않았다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우 배출가스 중의 이산화탄소는 15 min 후에 최고 0.5% 생성하였고, 이후 감소하여 2 hr 후에는 감지되지 않았다. 50°C의 경우에는 반응 15 min 후에 최고 0.9% 생성하였으나, 4 hr 후에는 감지되지 않았다. 60°C의 경우는 15 min 후에 최고 0.4% 생성하였으나 1 hr 후에는 감지되지 않았다. 미생물은 유기물을 분해하여 자신의 생체를 합성하고 증식하며 이때 호기성미생물은 산소를 취하여 이산화탄소와 물을 생성한다. 반응초기에 이산화탄소의 농도가 높게 나타난 것은 유기물의 분해가 초기에 활발히 진행되었

음을 알 수 있으며, 유기물이 감소됨에 따라 배출가스 중의 이산화탄소 발생량도 감소되었다. Fig. 7과 Fig. 8의 산소와 이산화탄소 농도변화를 살펴보면, 반응초기 산소농도는 낮고 이산화탄소 농도는 높은 결과로 나타났다. 이는 산소의 이용속도가 크게 됨에 따라서 유기물의 분해가 활발히 일어나고 있음을 알 수 있다. 본 실험에서는 반응기의 초기온도를 50°C로 운전한 경우가 40°C나 60°C의 경우보다 미생물에 의해서 분해가 촉진되어 이산화탄소의 발생이 더 많았으며, 반응 4 hr 후에는 유기물 분해반응이 거의 완료됨에 따라 산소의 이용과 이산화탄소의 생성이 중지된 것으로 나타났다.

(8) NH₃농도 변화

배출가스 중의 NH₃농도 변화는 Fig. 9에 나타냈으며, 반응기의 초기온도를 변화시키면서 운전한 결과 배출가스 중의 암모니아는 세 종류 시험방법 모두 반응 2 hr 이전에 많이 발생하였고, 그 이후에는 적게 발생하였다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우 배출가스 중의 암모니아는 15 min 후에 최고 29 ppm이 발생하여 1 hr 동안 지속되었으나, 그 이후는 거의 발생되지 않았다. 50°C의 경우에는 반응 1 hr 후에 최고 589 ppm 발생하였으며, 8 hr 후에는 거의 발생하지 않았다. 60°C의 경우에는 15 min 후에 최고 85 ppm 발생하였으나, 16 hr 후에는 거의 발생하지 않았다. 유기물 중의 단백질과 지방이 분해하여 암모니아와 이산화탄소가 생성되며 기질이 부족한 상태에서도 생물체는 산소와 반응하면 이산화탄소와 암모니아와 물을 생성한다. 따라서 유기물의 농도와 산소공급 및 반응기의 온도가 미생물의 활성에 영향을 미치게 되어 암모니아를 발생하게 된다. 본 실험에서는 반응기의 초기온도를 50°C로 운전한 경우가 40°C나 60°C의 경우보다 미생물의 활성이 촉

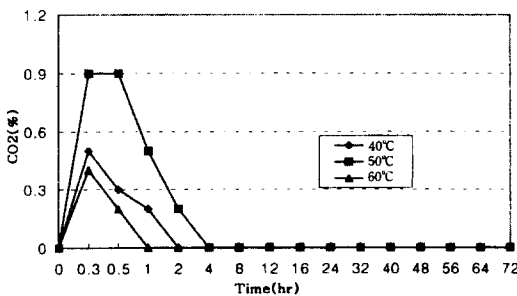


Fig. 8. Variations of CO₂ during composting of garbage in temperature control experiments.

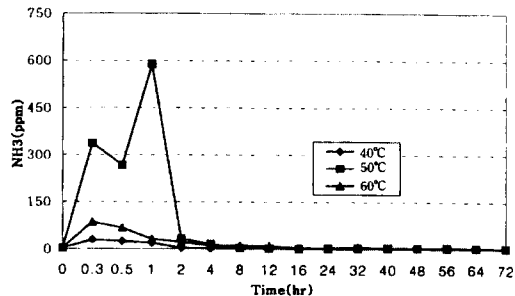


Fig. 9. Variations of NH₃ during composting of garbage in temperature control experiments.

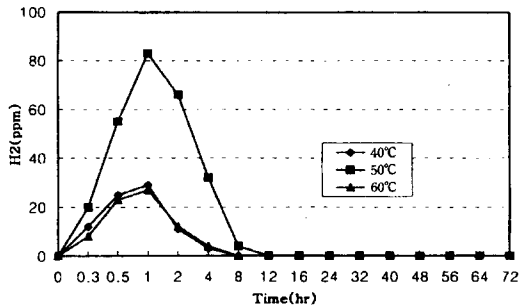


Fig. 10. Variations of H₂ during composting of garbage in temperature control experiments.

진되어 암모니아가 많이 발생한 것으로 판단된다. 암모니아화는 반응온도에 의해 좌우되기 때문에 40~50°C사이에서 반응이 빨리 완결되었으며, 암모니아의 농도는 단백질의 농도가 높은 기질에서 최대 1000 ppm 또는 그 이상까지 올라갈 수 있다는 연구 결과와 일치했다.^{11,12)}

(9) H₂농도 변화

배출가스 중의 H₂농도 변화는 Fig. 10에 나타냈으며, 반응기의 초기온도를 변화시키면서 운전한 결과 배출가스 중의 수소는 세 종류 시험방법 모두 반응 8 hr 이전에 발생하였고, 그 이후에는 감지되지 않았다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우 배출가스 중의 수소는 1 hr 후에 최고 29 ppm이 발생하였으며, 8 hr 후에는 발생되지 않았다. 50°C의 경우에는 반응 1 hr후에 최고 83 ppm 발생하였으며 12 hr 이후에는 발생하지 않았다. 60°C의 경우에는 1 hr후에 최고 27 ppm 발생하였으나, 8 hr 후에는 발생하지 않았다. 유기물 중의 아미노산, 유기산, 당 등이 Clostridium속 세균에 의해 발효될 때 기체성 발효산물로 이산화탄소와 수소가 생성된다.¹³⁾ 수소의 발생은 혐기성 초기 단계에서 효소의 가수분해에 의해서 유기물이 분해되면서 나타나는데, 수소가 생성되기 시작하면 이산화탄소의 생성량이 최대가 되는 것으로 알려졌다. 따라서 유기물의 농도와 반응조건이 수소의 발생에 영향을 미친다. 본 실험결과 반응기의 초기온도를 50°C로 운전한 경우가 40°C나 60°C의 경우보다 발효반응이 촉진되어 수소가 가장 많이 발생한 것으로 판단된다.

(10) CH₄농도 변화

배출가스 중의 CH₄농도 변화는 Fig. 11에 나타냈으며 반응기의 초기온도를 변화시키면서 운전한 결과 배출가스 중의 메탄은 세 종류 시험방법 모두 반

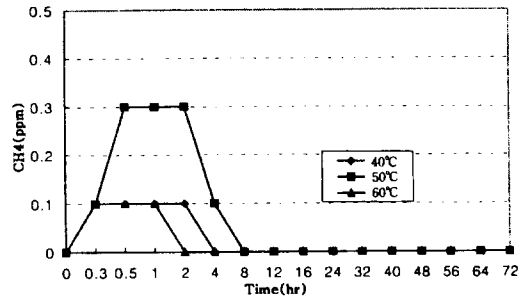


Fig. 11. Variations of CH₄ during composting of garbage in temperature control experiments.

응 8 hr 이전에 발생하였고, 그 이후에는 감지되지 않았다. 반응기의 초기온도를 40°C로 운전한 경우의 메탄가스는 반응 15 min 후부터 2 hr까지 0.1% 발생하였으며, 그 이후에는 감지되지 않았다. 50°C의 경우에는 반응 15 min 후에 발생하기 시작하여 반응 30 min부터 4 hr까지는 0.3%로 최대가 발생하였으며, 반응 8 hr 후에는 감지되지 않았다. 60°C의 경우에는 반응 15 min 후부터 1 hr까지 0.1% 발생하였으나, 그 이후에는 감지되지 않았다. 메탄가스는 유기물이 발효과정에서 혐기성미생물에 의해 가수분해되어 지방산과 알코올 등이 생성되며, 지방산은 생성 즉시 메탄균에 의해서 메탄가스와 탄산가스 등의 최종산물로 전환된다.¹³⁾ 유기물 중의 아미노산, 유기산, 당 등이 발효 초기에 기체성 발효산물로 이산화탄소와 수소가 생성되며 수소농도가 최대가 되면 메탄생성 박테리아에 의해 메탄과 탄산가스가 생성되는 것으로 알려졌다. 배출가스 중의 메탄의 발생농도는 산소농도, pH, 수분함량 등의 반응조건에 영향을 미친다. 실험결과 반응기의 초기온도를 50°C로 운전한 경우가 40°C나 60°C의 경우보다 발효반응이 촉진되어 메탄이 가장 많이 발생한 것으로 판단된다. 이상의 반응가스의 특성을 분석한 결과 반응기의 초기온도가 50°C인 상태에서 반응이 가장 촉진되었으며, 반응 8 hr 후에는 발효 반응가스의 생성이 중지되었다.

IV. 결 론

이 연구에서는 음식쓰레기를 회분식 반응기를 이용하여 반응기의 초기온도를 변화시키면서 퇴비화 반응 특성을 실험한 것으로 주요 결과는 다음과 같다.

1. 반응기의 교반속도를 1 rpm, 공기공급을 2/

kg·min로 유지한 상태에서 반응기의 초기온도를 40°C, 50°C, 60°C의 세 종류로 변화시키면서 실험한 결과는 50°C로 운전한 경우 72 hr후의 유기물함량은 48%로 가장 낮게 나타났다.

2. 벧짚을 수분조절제로 하여 수분함량을 50~55%로 조절한 다음 운전한 결과는 반응 72 hr후의 중량감소율이 50°C로 운전한 경우 77%로 가장 크게 나타났다.

3. 50°C로 운전한 경우 반응 30 min 후에 반응가스 중의 산소의 농도가 20.9%에서 19.9%로 최저를 나타낼 때 이산화탄소는 0.9%로 최대 생성되었으며 유기물분해가 가장 촉진된 것으로 나타났다.

4. 50°C로 운전한 경우 반응가스 중의 NH₃, H₂, 및 CH₄는 반응 1 hr후에 각각 589 ppm, 83 ppm, 및 0.3%로 최고 발생농도를 나타냈으며, 8 hr 후에는 반응이 완료되었다.

5. 벧짚을 수분조절제로 사용하고 초기온도를 50°C와 60°C로 운전한 경우에는 반응 72 hr 후에도 벧짚의 형태를 유지하고 있어 반응물을 퇴비로 이용하기보다는 소멸화를 통한 감량화가 효과적일 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) Rabbani, K. R., Jindal, R. and Kubota, H.: Composting of Domestic Refuse, Environmental Sanitation Information Center, Bangkok, Thailand, 1983.
- 2) Nakasaki, K. and T. Akiyama: Effect of seeding on thermophilic composting of household organic waste, *J. Ferment. Technol.* **66**(1), 37-42. 1988.
- 3) Suler, D. J. and Finstein, M. S.: Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO₂ Formation in Bench-scale, Continuously Thermophilic Composting of Solid Waste, *Appl. Environmental Microbiol.*, **33**, 345-350. 1977.
- 4) 신항식 외: 음식물찌꺼기 간이퇴비화의 적정 운전조건에 관한 연구, *한국폐기물학회지*, **13**(12), 202-210. 1996.
- 5) 환경부: 환경오염공정시험법 폐기물편, 1995.
- 6) Walker, I. K. & Harrison, W. J.: *New Zealand Journal of Agricultural Research*, **3**, 861. 1960.
- 7) Kuter, G. A., Hoitink, H. A. J. & Rossman, L. A.: *Journal of the Water Pollution Control Federation*, **57**, 309. 1985.
- 8) Zucconi, F. & De Bertoldi, M.: In *Compost: Production Quality and Use*, eds M. De Bertoldi, M. P. Ferranti, P. L. Hermite & F. Zucconi, Elsevier Applied Science, London, **30**, 1987.
- 9) Miller, F.C., Harper, E.H., Macauley, B.J. & Gulliver, A.: *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **30**, 287, 1990.
- 10) De Bertoldi, M., Vallini, G. & Pera, A.: *Waste Management & Research*, **1**, 157. 1983.
- 11) Ross, R. C. & Harris, P. J.: *Scientia Horticulturae*, **17**, 223. 1982.
- 12) Burrows, S.: *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2**, 403. 1951.
- 13) 민경희 외: *대학미생물학*, 탐구당, 49-53. 1994.