

교반속도 변화가 음식쓰레기의 퇴비화에 미치는 영향에 관한 연구

허 관* · 신대윤 · 정병건* · 박치홍**

*순천제일대학 환경공학과, 조선대학교 환경공학과, **순천청암대학 환경관리과

A Study on the Effect of the Composting of the Food Garbage by the Variations of Agitation cycle

Kwan Hu*, Dae-Yewn Shin, Byeong-Keon Jeong* and Chi-Hong Park**

*Dept. of Environmental Engineering, Sunchon First College

Dept. of Environmental Engineering, Chosun University

**Dept. of Environmental Management, Sunchon Chongam College

ABSTRACT

This study investigates the react characteristics to suggest the condition of the utilization and disintegration of food garbage as composting by varying the supply amount of air of the fermentation reactors. With the initial temperature and agitation velocity maintained 50°C and 1 rpm, the supply amount of air gives variety to 0.5, 1, 2, 4 l/kg · min. In the case of the amount of air operated at the 0.5 l/kg · min, reaction temperature shows a rising to the maximum 66°C after the 48hr, and the oxygen used rate of the micro-organisms shows the largest level at 18.4% after the 8hr. In the case of NH₃, H₂, H₂S and SO₂ among the react gas, the sanitary utilization shows the possibility of the micro-organisms gas disintegration, with most high gas generate rate. In the case of the amount of air operated at the 1, 2 and 4 l/kg · min, initial react was advanced rapidly and the product of the 72 hr after shows big weight reduction. As the experimentation result, when the amount of air operated at the 1 l/kg · min over, the reduction by disintegration would be more effectively, for the reactor maintains the color tone and shape of the straw (bulking agent).

Keywords : Food garbage, Composting, Fermentation reactors, Disintegration

I. 서 론

인구의 증가와 산업발전의 가속화는 인간에게 편리함을 제공하고 생활수준의 향상을 도모하고 있으나 대량생산과 대량소비로 인해서 각종 폐기물을 양산하고 있다. 특히, 식생활의 개선과 잘못된 음식문화는 한해에 8조원규모의 음식쓰레기를 배출시키는 것으로 추산되며 여기에 유통기한이 지나 버려지는 식품, 음식쓰레기 처리를 위한 쓰레기봉투 제작, 쓰레기 처리를 위한 물류비, 인건비, 쓰레기소각장 건설 및 운영비에 소요되는 비용을 포함하면 정부 예산의 15%선인 약 10조원이 음식쓰레기로 버려지고 있다. 이러한 음식쓰레기는 수분함량이 높아 쉽게 부패하고, 수거·운반시에는 악취와 오수가 발생하

며, 매립할 경우에도 주변지역에 대한 지하수 오염과 지반침하 등의 문제점을 내포하고 있기 때문에 가정이나 음식점뿐만 아니라 농산물 유통과 식품구매 등 전반에 걸쳐서 음식쓰레기 발생을 원천적으로 줄이기 위한 일대 개혁의 필요성이 대두되고 있다. '97년 현재 국내에서 발생하는 음식쓰레기는 일일 16,260톤으로 국민 1인당 음식쓰레기 발생량은 '96년 기준 0.35 kg으로 독일 0.27 kg, 영국 0.26 kg 등 선진국에 비해 많은 편이다. 음식쓰레기가 전체 생활폐기물 중에서 차지하는 비중도 '91년 28.5%에서 '95년 31.6%, '96년 35.2%로 매년 급격히 증가하고 있으며 처분에 있어서도 매립이 약 95%로 대부분을 차지하고 있다. 또한 소각 처분은 약 2.5%, 나머지 약 2.5%만이 소규모 가축먹이 및 퇴비이용 등

의 방법에 의하여 재활용되고 있다. 따라서 정부는 '96. 12월 환경보전위원회에서 음식물쓰레기 줄이기 종합대책을 확정하고 세부실천계획을 수립하기에 이르렀으며, 배출단계별 수거체계를 구축하고 퇴비·사료 등으로 자원화하기 위해서 음식쓰레기의 감량기준을 함수율 기준으로 설정하였다. 감량의무화 사업장의 범위는 집단급식소의 경우 현행 급식인원 2,000인 이상에서 100인 이상으로, 식품접객업소의 경우는 바닥면적 660 m² 이상에서 100 m² 이상으로 확대하였다.¹⁾ 이러한 음식쓰레기의 처리 및 재활용 방안은 환경오염문제의 발생과 유용한 유기성자원의 낭비라는 관점에서 중요한 과제이며, 이에 대한 방안은 미생물에 의한 퇴비화·소멸화가 바람직한 것으로 알려져 있다. 퇴비화와 관련된 국내외의 연구는 1990년대에 들어와서 미국·일본·독일 등지에서는 유기성 폐기물의 재이용에 대한 사회적 요구에 부응하여 퇴비화 기술이 활성화되고 있다. 미국 EPA는 일반 폐기물에 대한 종합관리체계를 수립하여 첫째는 감량화, 둘째는 재활용 및 재사용, 셋째로는 소각을 통한 폐열을 회수하고 마지막으로 위생매립을 장려하고 있으며 일반폐기물 중에서 유기성폐기물을 퇴비로 재생시키는 일은 미국, 유럽의 선진국 등에서 폭 넓게 받아들여지고 있다. 이러한 유기성폐기물의 퇴비화와 관련된 운전인자는 pH, 온도, 함수율, 입자크기, 공기량(산소농도), C/N비, Bulking agent의 유무, 교반 등으로 많은 연구 결과가 이론적으로 제시되어 있으나, 음식쓰레기의 감량화에 대한 연구는 미흡한 실정이다.²⁾

본 연구는 반응기에 음식쓰레기와 수분조절제인 벚짚 및 미생물제재를 혼합하여 투입하였으며, 반응기의 공기공급량과 가온온도 등 제반조건을 최적으로 유지한 상태에서 교반속도가 음식쓰레기의 퇴비화에 미치는 영향을 조사하여 최적 교반속도와 반응 완료 시점을 제시하는데 주안점을 두었다.

II. 실험장치 및 분석방법

1. 장치 및 운전조건

퇴비화장치의 기계설비는 감속모터, 감속기, 감속 스프로켓, 교반축, 콤프레서 및 콘트롤 부분으로 구성되어 있으며 자동제어시스템으로 메인판넬에 외부가온, 교반속도 및 공기공급량 제어 등의 계전설비를 설치하였다. 장치는 수평의 원통형으로 두께 3 mm의 SUS 304를 이용하여 지름 400 mm, 길이

600 mm로 제작하였으며 유효용적은 67 l이다.

1) 실험장치

퇴비화장치의 교반시스템은 내부의 물질을 균일한 상태로 혼합하기 위한 수단으로 1마력의 기어드 감속모터(1730 rpm)를 사용하여 120:1로 1차 감속시키고, 체인을 이용하여 1.5:1로 2차 감속하여 교반날개의 회전속도를 9.6 rpm으로 하였다. 교반기의 회전과 정지주기를 조절할 수 있도록 타이머(model Autonics AT8A)를 설치하여 자동으로 운전하였다. 또한 회전속도 변환을 위해서 모터에 인버터(model HYDRIVE-J100)를 부착하고 회전속도를 0.5~19.2 rpm의 범위로 조정할 수 있도록 하였다. 교반장치는 힘의 전달과 재료의 혼합 및 공기와의 접촉이 용이하도록 중앙에 설치된 원통형의 회전축에 판형의 교반날개를 4열로 5개씩 20개 부착하였다. 반응기의 구조는 Fig. 1과 같다.

2) 운전조건

본 연구는 반응기의 교반속도가 음식쓰레기의 퇴비화에 미치는 영향을 조사하기 위한 실험으로 반응

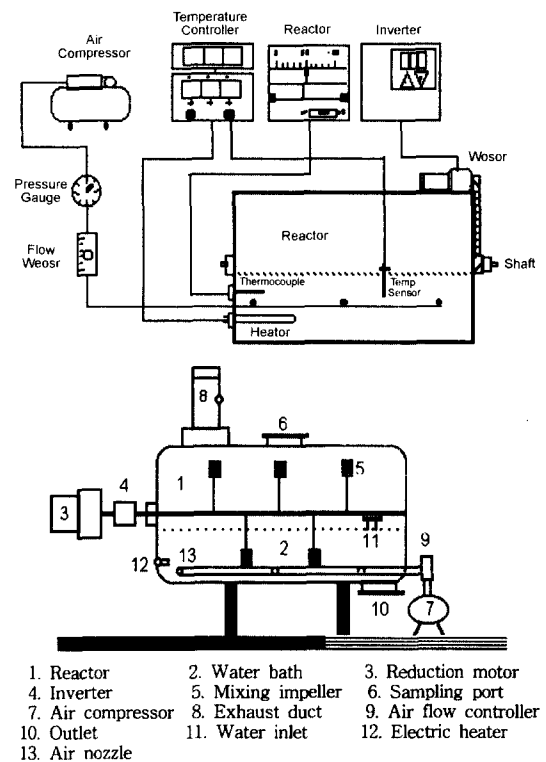


Fig. 1. Schematic diagram composting reactor system.

Table 1. Experimental conditions

Exp. No.	Agitation speed (cycle)	Aeration rate	Reaction temperature	Bulking agent
1	1 rpm (10 min on/50 min off)	1 l/kg · min	50°C	Rice straw
2	0.5 rpm (Continuation)			
3	1 rpm (Continuation)			
4	2 rpm (Continuation)			

기의 가온온도와 공기공급량을 50°C와 1 l/kg · min으로 일정하게 유지하고 교반속도를 변화시키면서 반응기의 최적 교반속도와 반응완료 시점을 제시하기 위한 것이다. 미생물을 이용한 음식쓰레기 고속퇴비화의 운전인자로는 반응기의 가온온도, 공기공급량 및 교반속도 등이며, 퇴비화시스템에 있어서 온도는 미생물 활동의 결과인 동시에 결정인자로서 작용한다. 중온성 미생물군은 40°C 이상에서 활동이 억제되고 60°C 이상이 되면 각종 고온성 미생물군의 적정온도를 초과하기 때문에 50°C 후반이 가장 분해에 적합하다^{3,5)}는 연구보고가 제시되고 있으며, 슬러지 등의 유기성폐기물의 퇴비화는 공기공급량이 0.4~1.0 l/kg · min정도^{6,7)}로 제시되고 있다. 교반속도에 있어서는 1 rpm 이하에서 간헐적인 교반이 행해지고 있다.²⁾고 보고하였고, 음식쓰레기의 퇴비화는 공기공급량이 2 l/kg · min 이상, 교반강도는 2 rpm 이상으로 제시하였다.⁸⁾ 본 실험은 음식쓰레기의 반응특성에서 최적조건으로 나타난 초기온도 50°C와 공기 공급량 1 l/kg · min으로 운전⁹⁾된 상태에서 반응기의 최적 교반속도의 조건을 제시하기 위한 실험으로 실험조건은 Table 1과 같다.

2. 재료의 성상

본 연구에 이용된 음식쓰레기는 C고등학교 기숙사에서 배출된 것으로 잔밥통 내의 혼합찌꺼기를 체로 걸러 고액 분리한 후 고형성분의 음식쓰레기를

10시간 정도 자연 탈수시켰으며, 이물질과 육류뼈, 고막껍질 등의 단단한 이물질은 수작업으로 분리하여 실험에서 제외하였다. 실험재료로 사용할 음식쓰레기는 가위를 이용하여 크기 5 mm 이하로, 벧짚은 절단기를 이용하여 2 cm 이하가 되도록 전처리 하였다. 실험재료는 자연 탈수로 수분함량이 64~74%인 음식쓰레기 4.5 kg, 수분함량 7~10%인 벧짚 1.5 kg 및 수분함량 20~26%인 EM미생물제제 0.3 kg를 혼합하여 수분함량이 52~56%가 되도록 투입하였다. 즉, 재료는 음식쓰레기, 벧짚 및 미생물제제를 각각 15:5:1로 배합하였으며 반응기에 투입하기 10 hr 전에 혼합하여 합성수지용기에 보관하여 두었다가 사용하였다. 재료의 특성은 Table 2와 같다.

반응기에 투입된 음식쓰레기의 주성분은 곡류, 채소류, 육류, 어류, 과일류 등으로 재료의 물리적 조성은 Table 3과 같다.

3. 시료채취 및 분석방법

1) 시료채취

음식쓰레기의 퇴비화 반응특성을 제시하기 위하여 회분실험을 실시하였다. 회분식 실험은 재료를 반응기에 투입하고 72 hr 동안의 퇴비화 진행도와 반응특성을 조사하였다. 퇴비화 반응의 진행도와 효율은 반응물을 주기적으로 인출하여 pH, 수분함량 및 유기물질함량을 분석하고 퇴비내의 온도변화를 측정·평가하였으며, 반응특성은 반응가스 중의

Table 2. Characteristics of the raw materials

Solid (%)	MC (%)	VS (%)	pH	TOC (mg/l)	TKN (mg/l)	C/N
17~27	52~56	84~86	6.5~6.7	37~41	1.5~2.4	21~27

Table 3. Initial compositions of raw materials

Materials	Composition	Materials	Composition
Cereals	5~15%	Fruits	5~18%
Vegetables	15~35%	Seaweeds	5~20%
Fishes	10~20%	Meats	5~15%

Table 4. Items and analysis period of sampling

Exp. Method	Period	Items	Analysis period	Times
Batch	72 hr	pH, Moisture, Volatile solids	0, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72 hr	14
		O ₂ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ , CH ₄ , H ₂ S, SO ₂	0, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 72 hr	16

산소, 탄산가스, 암모니아, 수소, 메탄가스, 황화수소, 이산화황의 농도를 측정하여 비교 평가하였다.

회분식 실험에서 반응물의 인출은 시료채취구를 이용하여 14회 실시하였으며, 매회 인출시 마다 20 g정도 채취하여 분석하였다. 반응가스의 채취는 가스분석기를 이용하여 16회 실시하였으며, 매회 채취시 마다 반응가스를 1분간 흡인시켜 측정하였다. 시료채취 항목 및 분석주기는 Table 4와 같다.

2) 분석 및 측정방법

본 연구는 퇴비화반응의 진행도와 효율을 나타내는 지표로서 유기물질함량 및 수분함량의 변화를 분석하였으며 반응특성을 판정하기 위해서 배출가스 중의 산소, 탄산가스, 암모니아, 수소, 메탄, 황화수소, 이산화황을 측정하였다. 또한 반응에 따른 환경조건의 변화를 나타내는 지표로서 pH와 온도를 측정하였다. 시료분석은 폐기물공정시험법에 준하여 분석¹⁰⁾하였으며, pH의 분석은 1g의 시료와 정제수에 염산을 넣어 pH 5.8~6.3으로 조절한 용매 10 ml를 cap tube에 담아 진탕시키고 원심분리를 한 후 상등수를 검액으로 하여 pH meter(model DHA-3000)로 측정하였다. 수분함량은 110°C에서 4 hr 동안 건조시키고 건조전후 질량차로부터 구하였으며, 유기물질함량은 건조된 시료를 600°C에서 2시간 동안 태운 후의 강열감량으로 측정하였다. C/N비는 CHN Analyzer(model CHN-1000, Leco 社)로 측정하였고, 배출가스는 MX-21 가스검출기와 GA-94A1 가스분석기를 사용하여 측정하였으며, 반응기 내의 온도변화는 열전온도계로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 교반속도 변화에 따른 지표변화

음식쓰레기의 퇴비화는 수분조절제로 볏짚을 사용한 반응기의 공기공급량과 가온온도를 최적조건인 50°C와 1 l/kg · min으로 일정하게 유지한 상태에서 반응기의 교반속도와 주기를 각각 1 rpm(10

min on/50 min off)의 간헐운전과 0.5, 1, 2 rpm의 연속운전한 결과를 Fig. 2~9에 나타냈으며, 퇴비의 일반적인 지표인 반응온도, pH, 수분함량, 유기물질함량 및 반응가스농도를 기준으로 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 반응온도 및 수분함량과의 관계

Fig. 2는 음식쓰레기의 반응특성에서 최적조건으로 제시된 초기온도 50°C와 공기공급량 1 l/kg · min을 일정하게 유지하고 반응기의 교반속도와 주기만을 변화시키면서 실시한 네 종류의 실험에서 퇴비화 반응온도 및 수분함량의 변화를 나타낸 결과로서 반응온도와 수분함량의 관계는 반비례함을 알 수 있다.

열의 발생은 대부분 생물학적인 반응에 의한 것으로 유기물의 분해정도를 나타내며, 미생물세포의 최적활동온은 산소이용을 저해하지 않는 최대수분함량에 의해 달성된다. 혼합재료는 음식쓰레기, 볏짚 및 미생물제재를 혼합하여 반응물의 수분함량이 52~56%가 되도록 조절하였다. 실험에서 투입된 혼합재료는 반응 1 hr 후에 외부가온 온도인 50°C에 도달하였으며, 그 이후는 반응열의 영향으로 가온온도 범위를 상회하기 시작했다. 수분함량은 반응초기에는 서서히 감소하다가 반응 16 hr 이후에는 급격

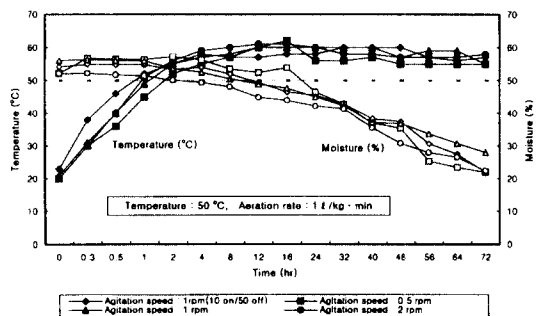


Fig. 2. Variations of temperature and moisture during composting of garbage in the agitation speed control experiments.

히 감소되었다. 반응 초기에는 미생물 활성의 영향으로 반응생성수와 증발수 사이에 평형을 유지하나, 기질이 고갈되면서 외부가온과 교반 등에 의한 건조가 주도적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

교반속도를 0.5 rpm으로 연속운전한 경우에는 반응 16 hr 이후 수분함량이 53%일 때 최고반응온도가 62°C로 나타나 고온미생물에 의해 유기물 분해가 가장 촉진되었다. 그러나, 반응최고온도가 낮게 나타난 것은 반응열에 의한 온도 상승이 가온온도를 상회할 때 열손실로 인해서 퇴비내 온도상승이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 실험에서 교반강도를 증가하여 운전할수록 반응기내의 최고온도 도달시간이 단축되는 것은 통기성개선으로 미생물활성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 교반속도를 1 rpm으로 연속운전한 경우에는 반응 12 hr 이후 수분함량이 45%에서 최고온도인 60°C를 나타내어 함유율이 40%정도에서 가장 안정된 퇴비화가 일어났다¹³⁾는 연구결과와 일치했다.

실험에서 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 주기로 운전한 경우에는 반응 72 hr 후 최종 생성물의 색상이 갈색을 띠어 퇴비화의 가능성을 보였으며, 교반속도를 0.5, 1 및 2 rpm으로 연속 운전한 경우에는 음식쓰레기만이 분해되고 Bulking agent인 벚짚은 표피의 일부만이 분해되었을 뿐 형태와 색상을 그대로 유지하여 음식쓰레기의 퇴비화보다는 소멸화의 가능성을 확인했다.

2) pH와 수분함량과의 관계

Fig. 3은 pH와 수분함량과의 변화를 나타내고 있다. 음식혼합물의 초기 pH는 조절되지 않은 상태에서 6.5~6.7 범위로 투입되었다.

실험에서 교반속도를 0.5 rpm으로 연속운전한 경

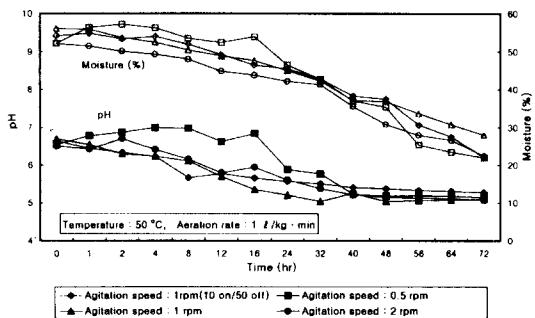


Fig. 3. Variations of pH and moisture during composting of garbage in the agitation speed control experiments.

우 수분함량을 40% 이상 유지하고 있는 반응 32 hr까지는 기질이 분해되면서 생성된 유기산의 산화와 질소산화물의 분해가 원활히 이루어져 pH가 상승하는 것으로 나타났으나, 수분함량 40% 이하에서 벚짚의 pH 범위(5.23)를 나타낸 것은 외부가온에 의한 건조의 영향으로 판단된다. 교반속도를 2 rpm으로 연속운전한 경우 초기에 pH가 낮아지다가 서서히 상승하여 2 hr 이후에는 최고 pH(6.7)에 도달한 다음 하강한 것은 초기에 생성된 유기산의 산화와 질소산화물의 분해가 촉진된 결과로 판단된다. 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 주기로 운전한 경우에는 산소의 전달이 원활하지 못해 혐기성상태에서 유기산생성의 영향으로 pH가 낮아지는 것으로 나타났다.¹⁴⁾ 교반속도를 0.5, 1 및 2 rpm으로 연속운전한 경우 반응 32 hr까지는 미생물활성에 의한 분해가 가능한 수분함량 40%를 유지하고 있으나, 그 이후에는 수분함량이 급격히 감소되어 벚짚의 pH(5.4) 범위로 나타났다. 초기 pH와 수분함량이 동일하게 조절하지 않아 온도변화에 따른 pH의 변화추이를 판단하기는 미흡했으나, 유기물함량과 배출가스농도 등의 변화를 고려할 때 초기 pH의 변화는 반응특성에 거의 영향을 주지 않은 것으로 나타났다.

3) pH와 유기물함량과의 관계

Fig. 4는 분해과정에서의 pH와 유기물함량과의 변화를 나타내고 있다. 실험에서 약산성인 pH 6~7의 범위에서 유기물의 분해가 가장 촉진된 것은 pH가 낮은 상태에서 활성을 띠는 유기산생성 미생물에 의해 고속퇴비화가 진행된 것으로 판단된다. 반응초기에 유기물감소가 큰 것은 음식쓰레기 중에 포함된 지방, 단백질, 탄수화물 등의 저분자 유기화

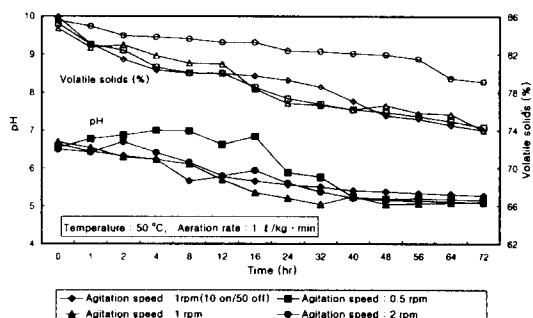


Fig. 4. Variations of pH and volatile solids during composting of garbage in the agitation speed control experiments.

합물이 초기에 분해된 것으로 판단된다. 교반속도를 0.5와 1 rpm으로 연속운전한 경우 반응 32 hr과 12 hr 이후 반응온도가 재상승할 때 유기물함량감소가 두드러진 것은 미분해된 유기물이 고온미생물에 의해 분해가 촉진되면서 나타난 현상으로 판단되며, 반응물의 pH 변화와는 무관한 것으로 나타났다. 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 간헐운전과 0.5, 1 및 2 rpm의 연속운전을 실시한 실험결과 반응 72 hr 후 유기물함량감소는 각각 14, 13, 13 및 8%로 나타났으며, 중량감소율은 각각 58%, 37%, 46% 및 55%로 나타났다. 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 간헐주기로 운전한 경우 유기물함량 및 중량감소가 가장 크게 나타난 것은 반응기내의 열축적이 개선되어 고온미생물의 활성이 양호하였던 것으로 판단되며, 2 rpm으로 연속운전한 경우에는 원활한 교반이 반응기내의 열축적을 억제하게 되어 미생물활성에 악영향을 미친 것으로 판단된다.

4) 반응가스 중의 O₂와 CO₂농도와의 관계

Fig. 5는 반응가스 중의 O₂와 CO₂ 농도변화를 나타내고 있다. 반응기내에서 산소농도의 유지는 산소 이용속도와 공급속도에 의해 결정된다.

실험에서 산소의 이용율이 높을 때 이산화탄소농도가 높게 나타난 것은 음식쓰레기가 미생물의 대사 작용에 의해 분해되고 있음을 알 수 있다. 산소농도는 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 주기로 운전한 경우 반응 30 min만에 19.3%로 최소농도를 나타냈으며, 이산화탄소농도는 1.5%로 최대농도를 나타냈다. 이 때의 반응물 pH는 6.44, 반응기내 온도는 46°C, 수분함량은 44.8%로 나타났다. 산소농도감소와 이산화탄소농도 증가가 초기에 크게

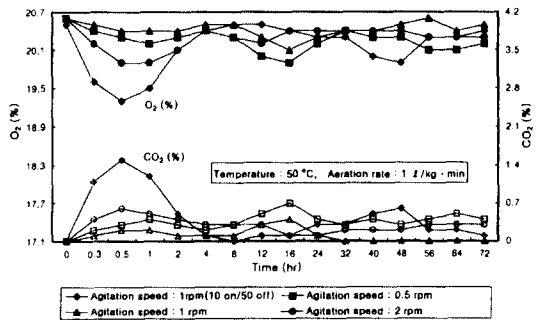


Fig. 5. Variations of O₂ and CO₂ during composting of garbage in the agitation speed control experiments.

나타난 것은 기질의 높은 밀도와 쉽게 이용할 수 있는 성상의 영향으로 반응초기에 이용속도가 빨라진 것으로 판단된다. 또한 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 간헐주기와 0.5 rpm, 1 rpm으로 연속운전한 경우 반응 32 hr과 12 hr 이후 이산화탄소농도가 증가하는 시점이 반응기내의 온도가 상승하고 유기물함량감소가 두드러진 시점과 일치한 것은 미생물의 대사작용에 의해서 미분해된 유기물이 분해되고 있음을 알 수 있다. 반응기내의 산소농도가 12~14%로 낮아질 때 발열속도가 떨어지고 15~20% 사이로 유지될 때 미생물의 활동이 가장 왕성하였다^{22,23)}는 연구보고와 비교하면 네 종류의 실험 모두 공기공급량과 교반강도는 충분하였던 것으로 판단된다.

5) NH₃와 CO₂ 농도와의 관계

Fig. 6은 반응가스 중의 NH₃와 CO₂ 농도변화를 나타내고 있다. 암모니아농도는 교반속도와 주기만을 변화시키면서 운전한 실험결과 반응 4 hr 후에 대부분 발생하였다. 유기물 중의 단백질과 지방이 분해하면 암모니아와 이산화탄소가 생성되며, 기질이 부족하면 생물체는 산소와 반응하여 이산화탄소와 암모니아와 물을 생성한다.

교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 간헐 주기로 운전한 경우 반응초기에 이산화탄소농도가 최대로 발생한 시점에서 암모니아가 최대로 생성한 것은 기질이 충분한 상태에서 산소공급과 반응기내의 온도가 미생물의 활성에 영향을 미친 결과로 판단된다. 실험에서 교반강도를 증가하여 운전할수록 암모니아의 최고농도 도달시간이 단축되는 것은 반응물의 혼합과 통기성개선의 결과로 판단되나 암모니아 발생농도에는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

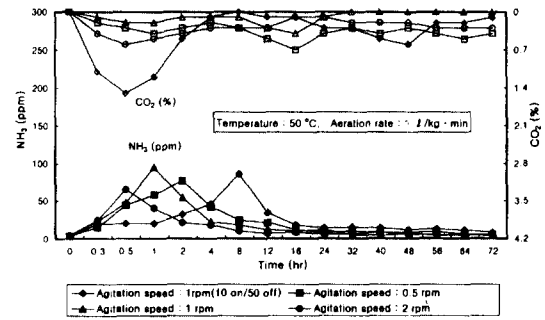


Fig. 6. Variations of NH₃ and CO₂ during composting of garbage in the agitation speed control experiments.

반응과정에서 암모니아가 발생하면 pH가 상승하고, 유기산 등 중간생성물이 축적되면 pH가 하락하는 두 현상간에 상쇄작용에 의해 pH에 영향을 미치게 된다. 암모니아는 반응 초기에 대부분 발생하였고, 수분함량이 50% 이하로 감소되는 24 hr 전후에서 반응이 완결된 것은 기질의 소모와 낮은 수분함량으로 미생물의 활성이 떨어진 것으로 판단된다. 암모니아화는 반응온도에 의해 좌우되며 반응가스 중의 암모니아농도는 단백질농도가 높은 기질에서 최대 1000 ppm 또는 그 이상까지 올라갈 수 있다^{14,15)}는 연구보고와 비교하면 이 실험에서는 낮게 나타났다.

6) H₂와 CO₂ 농도와의 관계

Fig. 7은 반응가스 중의 H₂와 CO₂ 농도와의 관계를 나타내고 있다. 수소농도는 교반속도를 1 rpm으로 연속운전한 경우 반응 72 hr 후에 36 ppm의 최고 농도를 나타냈으며, 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 주기로 운전한 경우에는 반응 48 hr 후에 27 ppm의 최고농도를 나타냈다. 유기물 중의 아미노산, 유기산, 당 등이 Clostridium속 세균에 의해 발효될 때 기체성 발효산물로 이산화탄소와 수소가 생성된다.¹⁶⁾

실험에서 교반강도를 증가시킬수록 수소가스의 최고 발생농도 도달시간이 단축된 것은 교반으로 인해서 유기물과 미생물의 혼합이 원활하고 통기성이 개선되기 때문에 유기물분해가 촉진된 것으로 판단된다. 교반속도를 0.5와 1 rpm으로 연속운전한 경우 반응 32 hr과 12 hr 이후 반응온도가 재상승하고 이산화탄소의 농도가 증가하는 시점에서 수소농도가 증가한 것은 발효미생물에 의한 영향으로 판단된다. 수소는 혐기성 초기단계에서 효소의 가수분해에 의해 유기물이 분해되면서 발생하며 유기물의 농도와

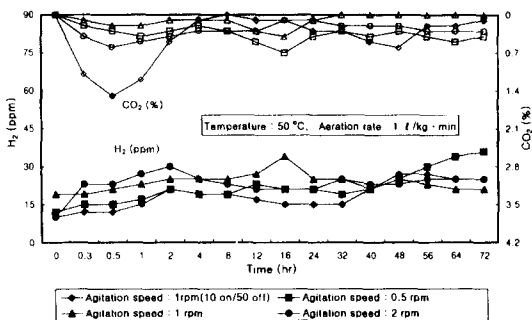


Fig. 7. Variations of H₂ and CO₂ during composting of garbage in the agitation speed control experiments.

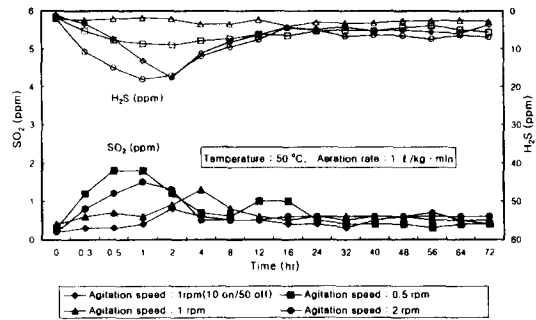


Fig. 8. Variations of SO₂ and H₂S during composting of garbage in the agitation speed control experiments.

반응조건이 수소의 발생에 영향을 미친다. 반응기의 교반속도와 주기를 변화시키면서 운전한 결과 교반속도가 수소나 이산화탄소의 발생농도에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다.

7) SO₂와 H₂S 농도와의 관계

Fig. 8은 반응가스 중의 SO₂와 H₂S 농도와의 관계를 나타내고 있다. 반응기의 교반속도와 주기를 각각 1 rpm(10 min on/50 min off)의 간헐운전과 0.5, 1 및 2 rpm의 연속운전을 실시한 실험결과 반응 2 hr 후의 SO₂와 H₂S 농도가 최고로 생성된 것은 반응 초기에 기질 중의 황산염이 미생물에 의해 환원이 촉진된 결과로 판단된다. 반응가스 중의 SO₂ 농도는 0.5 rpm으로 연속운전한 경우 반응 0.5 hr 후에 최고 1.8 ppm 생성되었으며, H₂S 농도는 교반속도를 2 rpm으로 연속운전한 경우 반응 1 hr 후에 최고 18.1 ppm으로 나타났다.

생합성과정에서 미생물은 기질중의 황의 공급원으로 무기황산염(SO₄²⁻)이 사용되며 황산환원원세균에 의해서 황산염이 환원되어 H₂S가 된다. 생성된 H₂S는 serine과 반응하여 cysteine에 동화되어 생체내 황을 필요로 하는 모든 화합물에 황을 공급한다. 반응가스 중의 SO₂와 H₂S 농도는 기질 중에 포함된 황산염과 유기물농도 및 반응온도 등의 제반조건에 의해서 영향을 받는다. 반응가스 중의 H₂S와 SO₂ 농도 변화의 실험결과 음식쓰레기는 반응후 24 hr 이내에 생합성이 완료되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 음식쓰레기를 회분식 반응기를 이용하여 가온온도와 공기공급량을 50°C와 1 l/kg·min으

로 유지한 상태에서 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 간헐주기와 0.5, 1 및 2 rpm의 연속 주기로 변화시키면서 퇴비화 반응특성을 실험한 주요 결과는 다음과 같다.

1. 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 주기로 운전한 경우 반응가스 중의 산소농도는 반응 30 min만에 19.3%의 가장 빠른 산소이용속도를 보일 때 이산화탄소농도는 1.5%로 최대를 나타냈으며, 반응 4 hr 후에는 가스의 생성이 대부분 완료되었다.

2. 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 간헐운전과 0.5, 1 및 2 rpm의 연속운전을 실시한 실험결과 반응 72 hr 후 유기물함량감소는 각각 14, 13, 13 및 8%로 나타났으며, 중량감소율은 각각 58%, 37%, 46% 및 55%로 나타났다. 1 rpm(10 min on/50 min off)의 주기로 운전한 경우 유기물 함량 및 중량감소가 가장 크게 나타난 것은 간헐운전으로 열촉적이 개선되어 고온미생물의 활성이 가장 촉진된 것으로 판단된다.

3. 교반속도를 1 rpm 이상으로 연속운전한 경우 반응가스 중의 NH₃, H₂, H₂S 및 SO₂ 농도는 초기에 높게 나타났으며, 반응 72 hr 후에도 벗짚의 형태를 그대로 유지하고 있어 반응물을 퇴비로 이용하기보다는 소멸화를 통한 감량화가 효과적일 것으로 판단된다.

4. 수소농도는 1 rpm으로 연속운전한 경우 반응 72 hr 후에 36 ppm의 최고농도를 나타냈으며, 1 rpm(10 min on/50 min off)의 주기로 운전한 경우에는 반응 48 hr 후에 27 ppm의 최고농도를 나타냈다. 교반강도를 증가시킬수록 수소가스의 최고 발생 농도 도달시간이 단축된 것은 유기물과 미생물의 혼합이 원활하고 통기성이 개선되기 때문에 유기물분해가 촉진된 것으로 판단된다.

5. 교반속도를 1 rpm(10 min on/50 min off)의 주기로 운전한 경우에는 반응 72 hr 후 최종생성물의 색상이 갈색을 띄어 퇴비화의 가능성을 보였으며, 교반속도를 1 및 2 rpm으로 운전한 경우에는 음식쓰레기만이 분해되고 Bulking agent인 벗짚은 표피의 일부만이 분해되었을 뿐 형태와 색상을 그대로

유지하여 소멸화의 가능성을 확인했다.

참고문헌

- 1) 환경부: 환경백서, 581-582, 1997.
- 2) Rabbani, K. R., Jindal, R. and Kubota, H.: Composting of Domestic Refuse, Environmental Sanitation Information Center, Bangkok, Thailand, 1983.
- 3) Rothbaum, H. P. and Dye, M. H.: *New Zealand Journal of Science*, **7**, 119, 1964.
- 4) Kuter, G. A., Hoitink, K. A. J. and Rossmann, L. A.: *Journal of the Water Pollution Control Federation*, **57**, 309, 1985.
- 5) MacGregor, S. T., Miller, F. C., Psarianos, K. M. and Finstein, M. S.: *Applied and Environmental Microbiology*, **41**, 1321, 1981.
- 6) Nakasaki, K. and T. Akiyama: Effect of seeding on thermophilic composting of household organic waste, *J. Ferment. Technol.*, **66**(1), 37-42, 1988.
- 7) 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.
- 8) 신항식, 정윤진, 정연구, 황응주, 강석태: 음식물찌꺼기 간이퇴비화의 적정 운전조건에 관한 연구, *한국폐기물학회지*, **13**(2), 202-210, 1996.
- 9) 신대운, 허 관: 온도변화에 따른 음식쓰레기의 반응 특성에 관한 연구, *한국환경위생학회지*, **24**(1), 104-111, 1998.
- 10) 환경부, 환경오염공정시험법 폐기물편, 1995.
- 11) Kubota, H., and Nakasaki, K.: Accelerated thermophilic composting of garbage, *Biocycle*, **32**, 66-68, 1991.
- 12) Miller, F. C., Harper, E. H., Macauley, B. J. and Gulliver, A.: *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **30**, 287, 1990.
- 13) De Bertoldi, M., Vallini, G. and Pera, A.: *Waste Management and Research*, **1**, 157, 1983.
- 14) Ross, R. C. and Harris, P. J.: *Scientia Horticulturae*, **17**, 223, 1982.
- 15) Burrows, S.: *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **2**, 403, 1951.
- 16) 민경희, 김치경, 조민기: *대학미생물학*, 탐구당, 49-53, 1994.