

계분톱밥 퇴비화시 악취발생의 최소화를 위한 적정 공기주입을 구명

강항원* · 박향미 · 고지연 · 이재생 · 김민태 · 강위금 · 이동창 · 문현팔

영남농업시험장 식물환경과

(2001년 9월 10일 접수, 2001년 10월 9일 수리)

Investigation on Optimal Aeration Rate for Minimizing Odor Emission during Composting of Poultry Manure with Sawdust

Hang-Won Kang*, Hyang-Mee Park, Jee-Yeon Ko, Jae-Saeng Lee, Min-Tae Kim, Ui-Gum Kang, Dong-Chang Lee and Huhn-Pal Moon
(National Yeongnam Agricultural Experiment Station, RDA, Milyang, Korea)

Abstract : This study was conducted to find out the optimal aeration rates for minimizing odor emission and for increasing biological activities during composting of livestock manure in the enclosed bench-scale reactor system. It was treated with the mixture of poultry manure and sawdust controlled the initial water content of 60%, then aerated continuously at four different aeration rates (0.1, 0.2, 0.4 and 0.6 L/min/kg dry-solids). The average emitted concentration of ammonia in 0.6 L/min/kg dry-solids during composting reached the level of 40% in comparison with that of 0.2 L/min/kg dry-solids. In cases of sulfur compounds such as hydrogen sulfide, methylmercaptan and ethylmercaptan, their concentrations decreased with increasing aeration rates and the emission time was shortened. But they didn't detect in the treatment of 0.6 L/min/kg dry-solids. The biological activity for composting showed a trend of increasing as aeration rates increased. The treatment of 0.6 L/min/kg dry-solids gave the highest biological activity and the best compost quality.

Key words : bench-scale reactor, livestock manure, optimal aeration rates, odor removal

서 론

산업이 발전함에 따라 유기성폐기물의 배출량은 급격히 증가하고 있는 추세이며 이러한 폐기물 처리를 위한 물리적, 화학적 및 생물학적 연구가 수행되어 많은 기술이 개발되었다. 그러나 현재까지 상당히 주목받고 있는 처리방법은 생물학적 방법인 호기성 분해에 의한 퇴비화 기술이다.

축산폐기물의 퇴비화는 환경오염의 경감과 더불어 농작물의 영양공급을 위한 대체비료를 생산할 수 있다는 두 가지의 이점을 동시에 가지고 있지만, 가축분의 퇴비화 과정에서 발생하는 강한 악취와 다량의 유해가스는 작업환경 악화와 대기환경 오염을 증가시키며, 그로 인한 민원이 빈번히 발생하고 있다. 더욱이 안전성이 결여된 불량 퇴비생산 등의 문제점들은 가축분뇨의 자원화에 큰 걸림돌이 되고 있는 실정이다.

가축분뇨에서 발생하는 악취성분에는 암모니아와 황화수소 그리고 휘발성 지방산, 알데하이드, 알콜, 아민, 메르캅탄, 인돌, 스카

롤 등이 혼합상태로 존재하고 있을 뿐만 아니라¹⁾ 이들 성분들은 퇴비화시 고농도로 다량 배출되기 때문에 악취로 인한 불쾌감이 더욱 조장되고 인축에 대한 유해정도도 배가된다.

유기성 고형폐기물의 분해활성과 악취성 화합물의 생성은 퇴비화 과정 중의 산소공급과 아주 밀접한 관계를 가지고 있다^{2,3)}. 산소의 공급량은 공기주입량과 산소농도 및 퇴적물의 수분함량에 의해 영향을 받는다. 일반적으로 공기주입율이 증가함에 따라 산소의 공급 용적량은 증가하며, 이러한 증가는 악취를 감소시키고 호기성 미생물의 활성을 증가시킨다. 그러나 너무 과다한 공기주입량은 처리비용이 높아질 뿐만 아니라 퇴적물 온도의 급격한 저하 및 빠른 건조로 인하여 퇴비품질이 불량하게 된다. 반면에 너무 적은 공기주입량은 퇴적물의 고온조건을 초래하여 미생물의 활성을 저해하고, 혐기성 상태가 조장되어 유해한 악취성분이 다량 생성되어 배출될 것이다⁴⁾.

따라서 가축분을 퇴비화하는 과정 중 공기주입율에 따른 생물학적 활성변수들의 경시적 변화양상과 암모니아 및 황 화합물 가스과 같은 악취성분의 배출양상을 구명하여 퇴비화 과정 중 악취발생을 최소화하고 양질의 퇴비를 생산할 수 있는 최적의 공기주입율을 설정하고자 본 연구를 수행하였다.

*연락처:

Tel: +82-55-350-1132 Fax: +82-55-352-3059

E-mail: hwkang@rda.go.kr

재료 및 방법

밀폐형 퇴비화 반응조 제작 및 퇴비화 시스템 구축

퇴비화 진행정도를 외부에서 관찰할 수 있도록 투명 아크릴로 약 98.1 L 용량의 퇴비화 반응조를 제작하였다. 반응조 밑부분에 공기주입구를 뚫고 공기가 위쪽으로 끌고루 확산될 수 있도록 공기확산파이프를 설치하였으며, 윗부분에는 공기배출구를 뚫고 암모니아 및 황화합물 등 배출가스를 포집 및 측정할 수 있도록 T자 밸브를 설치하였다. 본체의 상단과 중간 그리고 하단부분에 직경 0.64 cm 구멍을 뚫어 그 속으로 온도센서를 삽입하였으며, 뚜껑부분에는 퇴적물로부터 생성된 가스가 새지 않도록 하기 위하여 고무재질로 만든 O-ring을 설치하고 뚜껑과 본체를 볼트로 연결하였다. 그리고 본체 내부하단부분에 퇴적물 지지용 아크릴스크린을 설치하였으며, 그 곳에 직경 2 mm의 구멍을 약 1,100 개 만들어 주입공기가 퇴적물 밑부분에 고루 분포될 수 있도록 하였다. 또한 실험 중 가스의 누출을 방지하기 위하여 아교로 모든 이음부분을 철저히 접착하였다.

공기주입에 의한 생물학적 활성인자들의 경시적인 변화와 악취성분들의 배출 양상을 효율적으로 탐색하기 위하여 Fig. 1에서와 같이 퇴비화 시스템을 구축하였다. 본 시스템은 4개의 밀폐형 bench scale reactor를 중심으로 하여 air pump, air flow meter, thermocouple, gas sampler, absorption bottle, datalogger 및 computer 등으로 구성되었다.

공기주입 처리 및 퇴비화 조건

퇴비화 실험시 공기주입은 Table 1과 같이 건물 kg당 0.1, 0.2, 0.4 및 0.6 L/min의 공기 량으로 조절하여 각각의 반응조에 처리하였으며, 각 처리는 실험이 끝날 때까지 계속하여 공기를 주입하였다. 본 실험에 사용된 퇴비 재료는 생계분과 톱밥이었으며, 그 혼합물의 초기 수분함량을 퇴비화에 가장 적합한 60%로 조절하여⁹⁾ 반응조당 25 kg씩 적재하였다.

Table 1. Treatment and composting conditions

Treatment		Composting condition		
Aeration rate (L/min/kg dry-solids)	Time of aeration	Materials	Bulking agent	Initial water content (%)
0.1, 0.2, 0.4, 0.6	Continuance	Poultry manure	Sawdust	60

Table 2. Chemical properties of raw and mixture materials

Materials	pH (1.5)	EC (dS/m)	T-N (g/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	T-C (g/kg)	C/N	SO ₄ (mg/kg)
Poultry manure	6.95	60.1	21.9	-	-	233.6	10.7	-
Sawdust	-	-	0.9	-	-	239.5	266.1	-
Mixture	7.64	26.1	8.2	5203.4	947.8	238.2	23.8	3033.5

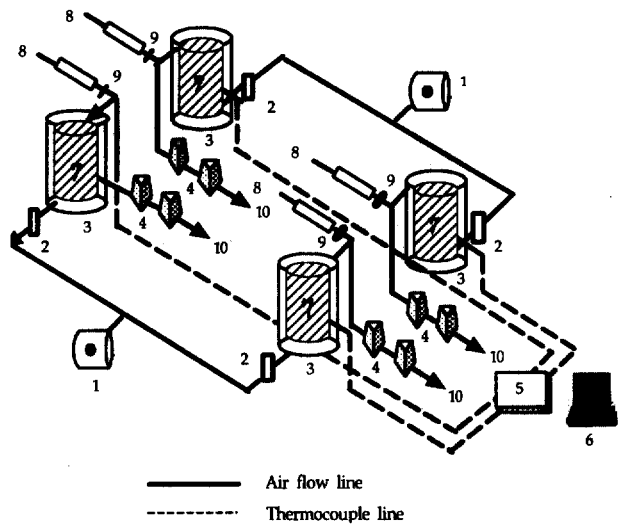


Fig. 1. Schematic diagram of composting experiment for poultry manure.

- 1: Air pump, 2: Air flow meter, 3: Composting reactor, 4: Adsorption bottle, 5: Datalogger, 6: Computer, 7: Composting materials, 8: Gas detector, 9: Gas valve, 10: Gas vent

퇴비화 재료의 특성 및 퇴적물의 뒤집기 작업

퇴비화 실험에 사용한 생계분, 톱밥 및 그 혼합물의 이화학적 특성은 Table 2와 같았다. 혼합물의 pH는 중성에 가깝고 전탄소 함량이 23.8%, 전질소 함량이 0.82%로 C/N비가 23.8이었다. 암모니아 및 질산태 질소함량은 각각 5,203 mg/L와 948 mg/L로 전 질소의 63%, 12%를 각각 함유하였으며, 황 함유가스 발생을 미치는 SO₄²⁻ 함량도 3,034 mg/L로 다소 높은 특성을 보였다. 퇴적물의 뒤집기 작업은 퇴비화 개시일로부터 1주일 간격(7일, 14일, 21일, 28일, 35일째)으로 총 5회 실시하였으며, 그 작업은 수작업으로 행하였다.

온도 및 배출가스농도 측정

퇴적물의 온도를 측정하기 위하여 온도센서 (PP-T-100 재질 thermocouple)를 퇴적물의 상단, 중앙 및 하단 부분에 각각 설치하고 datalogger (PSD-001, Perfect system社, Korea)에 연결하여 매 30분간의 평균온도 (192개/line/day)를 측정하였다.

퇴적물로부터 배출되는 산소 및 황 함유가스 농도를 측정하기 위하여 반응조 배출구 T자 밸브 한쪽에 연결된 호스 내부에 가스 검지관 (Gastech社, 일본)을 삽입하고 100 mL의 배출가스를 흡입하여 변색되는 부위의 수치를 농도로 표시하였다.

배출 암모니아 가스를 포집하기 위해 반응조 배출구의 T자 밸브 다른 한쪽에 0.3 M boric acid 용액 (1차 800 mL, 2차 400 mL)을 담은 2개의 흡수병 (1,000 및 500 mL 삼각플라스크)을 직렬로 연결하여 암모니아 가스가 대기로 용탈되지 않게 하였으며,

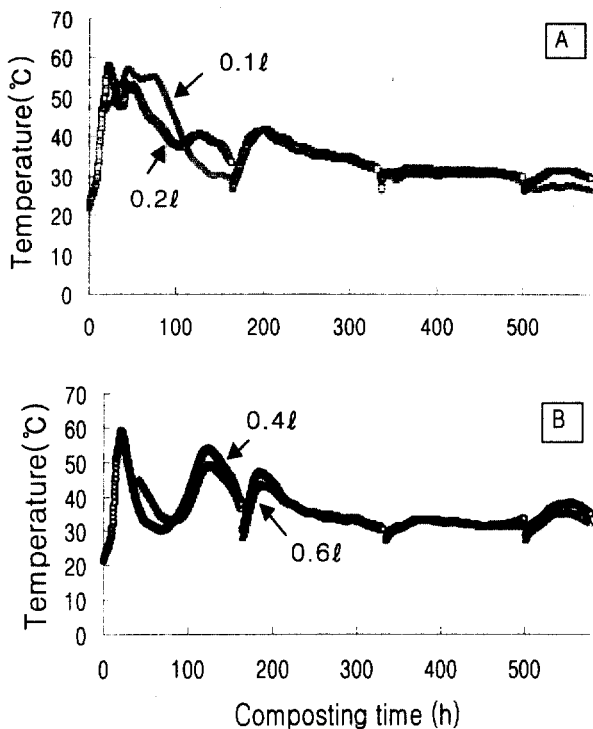


Fig. 2. Change in the composting temperature by different aeration rates during composting mixture of poultry manure and sawdust. A, temperature in 0.1 and 0.2 L/min/kg dry-solids; B, temperature in 0.4 and 0.6 L/min/kg dry-solids; Initial moisture content of composting materials, 60%; Turning time, every 7 days after aeration; Unit of aeration rates, L/min/kg dry-solids.

매 24시간마다 각각의 흡수용액을 교환하였다. 암모니아의 분석은 포집용액 30 mL을 채취하여 혼합지시약을 첨가한 후 0.1 N-H₂SO₄ 용액으로 적정하였다.

퇴적물의 이화학성 분석

퇴비 재료 및 퇴적물의 pH 및 전기전도도 (EC)는 퇴적물에 대해 증류수를 5배 가한 후 잘 혼합하여 30분이 경과한 다음 pH meter와 conductivity meter로 측정하였다. 전질소 함량은 음건시료를 습식분해한 후 Kjeldahl법⁶⁾으로, 전탄소 함량은 Tyurin법⁷⁾으로, 암모늄태 질소함량은 Indophenol-blue법⁸⁾으로 분석하였다. 또한 질산태 질소와 황산함량은 습윤시료에 초순수를 가하여 진탕하고 그 여액을 일정 농도로 희석한 후 Ion chromatography (Dionex 500, USA)로 분석하였다.

결과 및 고찰

부숙온도의 모니터링

밀폐형 bench-scale reactor 퇴비화 시스템에서 thermocouple와 datalogger를 이용하여 퇴적물에 대한 공기주입율별 부숙온도를 모니터링하였다 (Fig. 2). 퇴적물의 부숙온도는 공기주입 즉시 모든 처리에서 급격히 상승하였는데, 이러한 온도 변화는 일반적으로 퇴비화 개시 후 10시간에서 30시간 내에 발생하는 것으로 보고되어 있지만⁹⁾ 본 실험에서는 그 보다 다소 빠른 경향을 보였다. 그리고 본 실험의 공기주입율 0.1~0.6 L/min/kg dry-solids 처리 범위에서 부숙온도의 증가 및 감소 속도는 공기주입율이 높을수록 빠르고 공기주입율이 낮을수록 완만한 온도 변화를 보였다. 또한 공기주입율이 가장 높은 0.6 L/min/kg dry-solids 처리에서는 35일간 퇴비화 기간중 평균온도가 다른 처리에 비해 높았고 45°C 이상의 고온 유지시간이 가장 길었다. 이는 공기주입량이 많을수록 퇴적물 내의 산소 확산율이 높아지고, 그에 따른 호기성 미생물의 활성이 증가하여 이분해성 (易分解性) 물질의 분해가 촉진되었기 때문으로 여겨진다. 그러나 강 등¹⁰⁾은 축분 퇴비화 실험에서 과도한 공기주입 (초기수분함량 65%일 때 1.79 L/min/kg dry-solids의 공기주입율)은 퇴적물의 식힘작용과 건조작용을 일으키기 때문에 적절한 공기주입을 조절이 요구된다고 보고한 바 있다.

배출 산소농도의 변화

퇴적물 내의 산소농도는 퇴비화 과정에서 호기성 미생물의 활성에 지대한 영향을 미치는 생물학적 활성의 주요한 지표로 사용되고 있는데 Fig. 3에서는 공기주입율별 퇴적물의 배출 산소농도를 나타내었다. 부숙온도의 상승과 달리 공기주입 즉시 산소농도는 모든 처리에서 급격히 감소하였으며, 공기주입율이 높을수록 산소농도의 감소속도는 빠르고 최저 산소농도는 높았다. 퇴비화 온도가 급격히 상승하는 초기단계에서는 최저농도 1.0~11.2%, 평균농도 17.2~19.5% 범위를 각각 나타내었고 퇴비화 21일경 이후에는 모든 처리에서 일정한 농도를 보였다. 이러한 결과는 VanderGheynst 등⁹⁾의 합성식품오니 퇴비화 실험 (초기수분함량 55%, 공기주입율 0.06~0.6 L/min/kg dry-solids)에서 나타난 2.0~17.5%의 최저 산소농도 범위, 그리고 공기주입율과 최저 산소농도간에는 정의 상관을 보였다는 보고와 유사하였다.

또한 De Bertoldi 등¹¹⁾은 퇴비화 미생물의 활성이 크게 저하되는 산소 제한성은 15%이하의 산소농도에서 나타난다고 보고하였는데, 이러한 산소제한성은 0.1 L/min/kg dry-solids 처리의 경우 퇴비화 초기에 약 70시간과 뒤집기 이후 약 80시간 정도였으며, 0.2 L/min/kg dry-solids 처리는 퇴비화 초기에만 약 55시간, 0.4 L/min/kg dry-solids 처리는 약 40시간, 0.6 L/min/kg dry-solids 처리는 약 35시간 정도에서 보였다. 따라서 산소제한성은 공기주입율이 증가할수록 감소하는 부의 관계를 보였다.

일반적으로 공기주입율이 증가함에 따라 호기성 미생물 활성에 지대한 영향을 주는 산소제한성은 감소될 것이다⁴⁾. 그러나 퇴비화 기간 동안 배출되는 산소농도가 외부공기의 산소농도와 큰 차이를 보이지 않는다면 그 역시 산소제한성과는 반대로 과도한

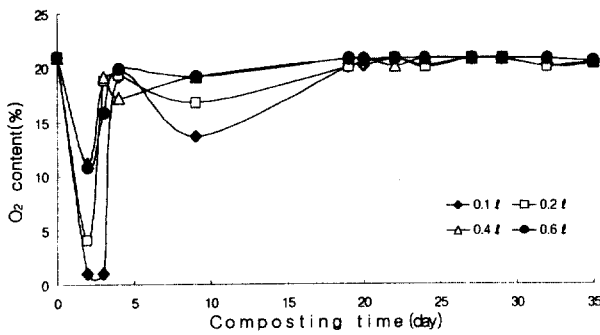


Fig. 3. Change in oxygen content of exhausted air during composting mixture with poultry manure and sawdust. Initial moisture content of composting materials, 60% ; Turning time, every 7 days after aeration ; Unit of aeration rates, L/min/kg dry-solids.

공기주입율에 의한 퇴적물 온도의 냉각작용과 급격한 건조에 의한 미생물의 활성저하 등으로 퇴비화가 지연되고 품질이 저하되는 결과를 초래할 것으로 판단된다. 또한 Suler 등¹²⁾과 Schulze¹³⁾에 의하면 18%의 산소농도에 비하여 10%의 산소농도에서 25%의 생물학적 활성이 저하되고, 2% 산소농도에서는 65%의 활성이 저하된다고 보고하였다. 따라서 본 실험의 낮은 공기주입율에서 나타난 산소농도의 최저점 부근에서는 호기성 미생물의 활성이 상당히 감소되는 결과를 초래할 것이므로 퇴비화 초기단계에서는 공기주입율을 약간 높여 주는 것이 좋을 것으로 생각된다.

퇴적물의 특성

공기주입율이 퇴적물의 특성에 미치는 영향을 구명하고자 퇴비화 35일째의 퇴적물 시료를 채취하여 분석한 결과 (Table 3), 공기주입율이 높을수록 pH와 전질소 함량은 높고 전탄소 함량은 낮아 C/N 비는 감소하였다. 퇴적물의 수분함량은 53.2~62.8% 범위를 나타내었는데, 특히 0.1과 0.2 L/min/kg dry-solids에서는 초기 수분함량에 비하여 오히려 수분함량이 증가하였다. 이는 적은 양의 공기주입에 의해 퇴적물의 유기물 분해가 서서히 이루어짐에 따라 반응조 뚜껑에 맺힌 물방울이 퇴적물에 재투입된 연유로 생각된다.

암모니아 가스로 전환이 용이한 암모늄태 질소함량은 620~3,333 mg/kg 범위에서 공기주입율이 높을수록 낮았고, 질산태 질소와 황산함량도 적어지는 경향을 보였다. 따라서 본 실험의 조건하에서 35일간 퇴비화한 퇴적물의 전반적 특성을 보아 공기주입율이 높은 0.6 L/min/kg dry-solids의 처리에서 품질이 가장 좋았던 것으로 판단된다.

악취성분의 배출 양상

암모니아 가스의 배출농도 변화

가축분 퇴비화시 생성되는 대부분의 악취는 암모니아 가스에 의해 비롯될 정도의 높은 농도로 배출되며, 퇴적물내의 질소화합

Table 3. Characteristics of composted materials by different aeration rates at 35 days after composting of poultry manure with sawdust

Aeration rate (L/min/kg dry-solids)	pH (1 : 5)	T-C (g/kg)	T-N (g/kg)	C/N	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	SO ₄	Water content (%)
0.1	8.05	195.8	7.1	27.6	3333	840	3613	62.8
0.2	8.16	191.2	7.2	26.6	2021	1000	3856	62.6
0.4	8.58	186.8	7.6	24.6	745	658	3375	57.3
0.6	8.72	177.1	8.3	21.3	620	544	3063	53.2

- Initial moisture content of composting materials, 60%.

물이 탈아민화 반응에 의해 암모니아로 배출된다. 따라서 공기주입율에 따른 암모니아 배출 정도를 구명코자 Fig. 4와 같이 퇴비화 기간별 암모니아 배출농도를 모니터링하였다. 암모니아는 대부분 퇴비화 초기에 배출되었는데 120시간 이내에서 최대 peak를 보인 후 감소하였고, 뒤집기 후에 다시 완만한 peak를 나타내었다. Miller 등¹⁴⁾은 밀폐형 퇴비화 시스템에서 버섯퇴비 제조에 관한 연구결과, 암모니아 농도는 퇴비화 처리 24시간 경에 최대에 도달하였다고 보고하였는데, 본 실험의 최대농도 도달시간보다는 다소 빨랐다. 이는 퇴비화 조건 특히 퇴비화 재료의 질소함량 차이에서 기인된 것으로 생각된다.

Fig. 2에서 보여진 최고온도의 도달시간과 Fig. 4에서 나타난 암모니아의 최고농도 도달시간을 비교해 보면 최고온도가 먼저 나타난 후에 암모니아의 최고농도가 뒤따라 나타나는 양상을 보였다. 이러한 결과로 보아 암모니아 배출은 퇴비화 과정 중 온도에 상당한 영향을 받는 것으로 판단되며, Dewse 등¹⁵⁾도 퇴비화 중 부숙온도가 높아질수록 암모니아 배출율이 높아진다는 내용을 보고한 바 있다.

암모니아 가스의 최대, 평균 배출농도

암모니아 가스의 농도는 악취의 강도에 직접적인 영향을 끼침으로 Table 4에서는 공기주입율에 따른 퇴비화 단계별 암모니아의 최대 및 평균농도를 나타내었다. 퇴비화 초기단계 (퇴비화 : 0~163.7시간)의 최대 암모니아 농도는 0.4 L/min/kg dry-solids까지는 4,642~19,866 mg/L 범위에서 공기주입율이 높을수록 증가하였으나 0.6 L/min/kg dry-solids 처리에서는 3,641 mg/L로 급격히 감소하였고, 뒤집기 2단계 (퇴비화 165~331.3시간) 후부터는 공기주입율이 낮을수록 높은 농도로 배출되는 경향을 보였다. Miller 등¹⁴⁾이 밀폐형 퇴비화 시스템 연구에서 보고한 최대농도인 1,400 mg/L에 비하여 본 실험의 0.4 L/min/kg dry-solids 처리는 14.2배정도 높은 수치를 보였는데, 이러한 농도 차이는 퇴적물의 재료와 퇴비화 조건이 서로 상이하였기 때문인 것으로 생각된다.

퇴비화 단계별 평균농도는 일정한 경향 없이 53~10,222 mg/L

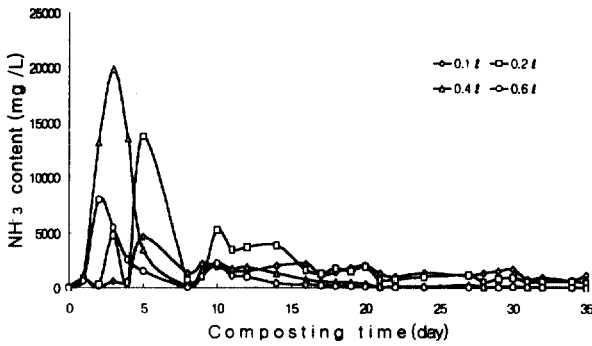


Fig. 4. Change in ammonia concentration emitted by different aeration rates during composting mixture with poultry manure and sawdust. Initial moisture content of composting materials, 60% ; Turning time, every 7 days after aeration ; Unit of aeration rates, L/min/kg dry-solids.

범위로 0.6 L/min/kg dry-solids 처리에서 가장 낮았고, 퇴비화 단계가 경과됨에 따라 평균농도는 낮아지는 경향이였다. 그러나 공기주입율이 가장 낮은 0.1 L/min/kg dry-solids에서는 퇴비화 초기에 비하여 오히려 2 단계에서 평균농도가 더 높고, 퇴비화 전기간 동안 큰 변화 없이 다른 처리에 비하여 다소 높은 농도를 유지하였다. 이는 너무 적은 공기량 주입으로 인하여 퇴적물 내에 혐기상태가 부분적으로 지속됨으로써 부숙 속도가 다른 처리에 비해 지연되었던 결과에 기인된 것으로 여겨진다.

암모니아 가스에 대한 사람의 반응은 낮은 농도에서도 눈과 호흡기를 자극하여 25~30 mg/L 정도이면 눈이 충혈되고 5,000 mg/L 이면 생명이 위험하며, 가축의 반응은 50 mg/L 이상시 닭은 눈의 염증이 가속화되고 200 mg/L 이상일 경우에는 재치기, 타액분비 및 식욕상실이 발생된다¹⁶⁾는 보고를 볼 때 가축분 퇴비화 초기의 암모니아 농도는 인축(人畜)에 큰 피해를 줄만큼 높은 수준이라고 생각된다.

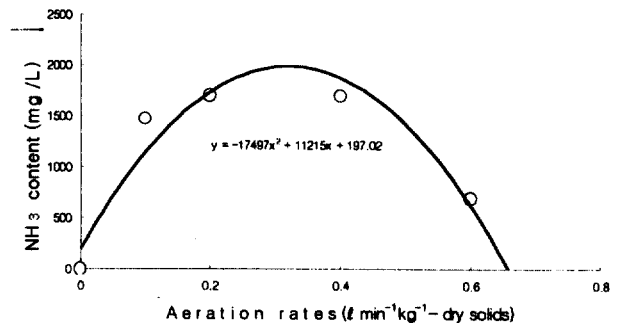


Fig. 5. Relationship between aeration rates and ammonia concentration emitted by different composting conditions. Initial moisture content of materials, 60% ; Materials, poultry manure and sawdust.

공기주입율과 암모니아 평균배출농도와의 관계

공기주입율과 퇴비화 동안의 암모니아 평균농도간의 관계는 Fig. 5와 같았다. 일반적으로 퇴비화시 공기주입율이 증가함에 따라 퇴적물의 질소성 화합물은 탈아민화 작용과 pH의 증가로 인하여 암모니아 배출농도는 증가한다³⁾. 그러나 본 실험에서는 이 차함수적 관계를 보여 공기주입율이 0.3 L/min/kg dry-solids일 때 암모니아 농도가 약 2,145 mg/L로 최대가 될 것으로 추정되었다.

황 화합물 가스의 배출농도 변화

황 화합물 가스는 확산작용이 대단히 빠르며 낮은 thresholds에서도 그들만의 독특한 악취를 발생한다. 이들 가스 중 황화수소는 아주 낮은 농도에서도 눈과 호흡기관을 심하게 자극하기 때문에 퇴비화 악취성분 중 가장 유해한 물질로 분류되고 있다¹⁶⁾. 따라서 퇴비화시 황 화합물 가스의 배출농도를 최소화 할 수 있는 적정 공기주입율을 구명하고자 퇴비화 단계별 배출농도를 경시적으로 측정하였다. 황화수소는 공기주입율이 낮은 0.1과 0.2 L

Table 4. Maximum and average concentration (mg/L) of ammonia emitted by different aeration rates during composting of poultry manure with sawdust

Aeration rate (L/min/kg dry-solids)	Stage 1		Stage 2		Stage 3		Stage 4		Stage 5	
	Max.	Aver.	Max.	Aver.	Max.	Aver.	Max.	Aver.	Max.	Aver.
0.1	4,642	1,338	2,171	1,748	2,153	1,650	1,364	1,210	1,710	1,131
0.2	13,692	4,012	5,246	3,005	1,907	1,458	1,167	868	916	644
0.4	19,866	10,222	2,207	1,467	757	462	211	130	119	79
0.6	7,995	3,641	2,246	985	313	172	85	57	103	53

- Max., maximum content ; Aver., average content.

- Initial moisture content of composting materials, 60%.

- Composting time : Stage 1, 0~163.7 h ; Stage 2, 165~331.3 h ; Stage 3, 333.7~499.3 h ; Stage 4, 501.7~664.7 h ; Stage 5, 666~1080 h.

/min/kg dry-solids 처리의 퇴비화 1단계에서만 검출되었고 그 이상의 공기주입율에서는 전혀 검출되지 않는 양상을 보였다 (Table 5).

메틸메르캅탄은 황화수소와 같이 0.1과 0.2 L/min/kg dry-solids의 낮은 공기주입율 처리에서만 검출되었다. 퇴비화 초기단계에 고농도로 배출된 후 급격히 감소하여 0.1 L/min/kg dry-solids 처리에서는 35일, 0.2 L/min/kg dry-solids에서는 14일까지 지속적으로 배출되어 황화수소보다는 다소 긴 기간동안 배출되는 양상을 보였다.

에틸메르캅탄은 다른 황 화합물 가스와 마찬가지로 계란의 쉼새 냄새를 풍기며, 퇴비화 조건이 혐기성 상태일 때 다량 발생하는데 표 5에서와 같이 공기주입율이 높을수록 배출농도도 낮았고 그 배출기간도 짧아지는 경향을 보였다. 공기주입율이 낮은 0.1과 0.2 L/min/kg dry-solids 처리에서의 평균배출농도는 각각 2.91, 0.74 mg/L로 메틸메르캅탄에 비하여 높고, 배출기간도 긴 경향을 보였다. 그러나 공기주입율이 가장 높은 0.6 L/min/kg dry-solids 처리에서는 퇴비화 기간동안 전혀 배출되지 않았던 점을 보아 공기주입율의 적절한 조절로 퇴적물 내의 조건을 호기적 상태로 유지하게 함으로써 황 화합물 가스는 비교적 쉽게 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 5. Changes in hydrogen-sulfide, methylmercaptan, and ethylmercaptan concentrations emitted by different aeration rates during composting mixture of poultry manure and sawdust. (mg/L)

Aeration rate (L/min/kg dry-solids)	Sulfur compound gas	Stage				
		1	2	3	4	5
0.1	H ₂ S	69.70	ND	ND	ND	ND
	CH ₃ SH	7.72	5.08	5.83	3.67	1.30
	C ₂ H ₅ SH	7.50	4.42	5.75	3.87	1.10
0.2	H ₂ S	0.30	ND	ND	ND	ND
	CH ₃ SH	4.80	2.23	ND	ND	ND
	C ₂ H ₅ SH	2.50	1.33	1.00	ND	0.50
0.4	H ₂ S	ND	ND	ND	ND	ND
	CH ₃ SH	ND	ND	ND	ND	ND
	C ₂ H ₅ SH	ND	0.08	ND	ND	ND
0.6	H ₂ S	ND	ND	ND	ND	ND
	CH ₃ SH	ND	ND	ND	ND	ND
	C ₂ H ₅ SH	ND	ND	ND	ND	ND

- ND, no detection ; Turning time, every 7 days after aeration.
- Initial moisture content of composting materials, 60%.
- Composting time : Stage 1, 0~163.7 h ; Stage 2, 165~331.3 h ; Stage 3, 333.7~499.3 h ; Stage 4, 501.7~664.7 h ; Stage 5, 666~1080 h.

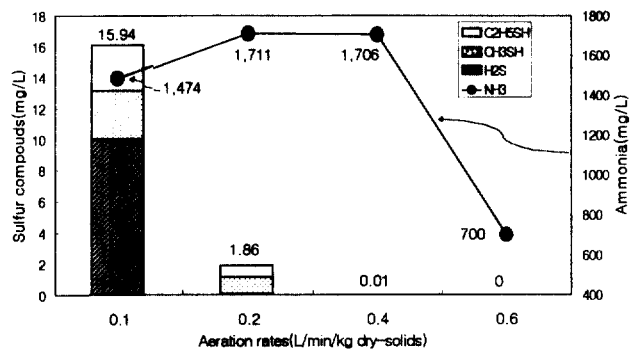


Fig. 7. Average concentration of ammonia and sulfur compounds emitted by different aeration rates during composting with mixture of poultry manure and sawdust

공기주입율별 황화합물 및 암모니아 가스의 평균배출농도

퇴비화 35일동안 배출된 공기주입율별 암모니아 및 황화합물 가스의 평균농도를 같이 나타내면 Fig. 6과 같다. 주요 악취원인 황화합물가스 (황화수소, 메틸메르캅탄, 에틸메르캅탄)는 공기주입량 0.1 L/min/kg dry-solids 처리에서 15.94 mg/L로 가장 높고, 0.6 L/min/kg dry-solids에서는 전혀 검출되지 않았다. 암모니아 평균배출농도는 0.2 L/min/kg dry-solids에서 1,711 mg/L로 가장 높았고, 0.6 L/min/kg dry-solids에서는 700 mg/L로 급격히 감소하여 처리 중 가장 낮은 결과를 보였다.

따라서 초기수분함량이 60%인 계분톱밥 혼합물을 퇴비화하는 경우에는 공기주입율을 0.6 L/min/kg dry-solids로 조절한다면 황화합물 및 암모니아 가스에 의한 악취를 최소화시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

요 약

퇴비화시 생물학적 활성을 증대하고 악취발생을 최소화 할 수 있는 적절한 공기주입율을 구명하고자 밀폐형 bench-scale reactor 퇴비화 시스템을 이용하여 시험을 수행한 결과는 다음과 같았다.

- 1) 공기주입율이 증가할수록 생물학적 활성은 증대하여 0.6 L/min/kg dry-solids 처리가 가장 높았고, 퇴비화 35일째의 퇴적물 품질도 가장 양호하였다.
- 2) 암모니아 평균 배출농도는 0.6 < 0.1 < 0.4 < 0.2 L/min/kg dry-solids 처리 순으로 낮았으며, 0.6 L/min/kg dry-solids 처리시 암모니아 배출농도는 0.2 L/min/kg dry-solids 처리에 비해 약 40% 수준에 불과하였다.
- 3) 계분톱밥 퇴비화시 주요 악취원인 황화합물 가스는 공기주입율이 낮을수록 배출농도가 높고 배출기간도 길어지는 경향이 있으나, 0.6 L/min/kg dry-solids 처리에서는 전혀 검출되지 않았다.

- 4) 계분퇴비 퇴적물의 초기 수분함량을 60%로 조절하고 0.6 L/min/kg dry-solids의 공기주입율로 퇴비화할 경우 생물학적 활성중대로 인한 양질의 퇴비생산과 황화합물 및 암모니아에 대한 악취발생을 최소화 할 수 있을 것으로 기대되었다.

참 고 문 헌

1. ASAE. (1993) Control of manure odors, ASAE Standards, 40th Ed. EP379. St. Joseph, Mich.
2. Miller, F. C. (1992) Composting as a process based on the control of ecologically selective factors, In Soil Microbial Ecology, Marcel Dekker, Inc. Richmond, Washing, pp.515-544.
3. Miller, F. C. (1992) Minimizing odor generation. Science and engineering of composting : Design, environmental, microbiological and utilization aspects, pp. 219-241.
4. VanderGheynst, J. S., VanderGheynst, G. B. and Walker, L. P. (1997) Measurement and analysis of biological activity in composting processes using zirconia oxide oxygen sensors, 1997 ASAE Meeting Presentation paper, pp. 1-12.
5. Richard, T. and Chadsey, M. (1989) Croton Point Compost Site : Environmental monitoring program. Cornell University, Department of Agricultural and Biological Engineering, Final Report, November, 15pp.
6. Bremner, J. M. (1960) Determination of nitrogen in soil by Kjeldahl method, *J. Agr. Sci.* 55, 11-33.
7. Schollen, berger, C. J. (1927) A rapid approximation method for determining soil organic matter, *Soil Sci.* 24, 65-68.
8. Bremner, J. M. (1955) Determination of ammonia and nitrate in soil, *J. Agr. Sci.* 46, 20-328.
9. VanderGheynst, J. S., Gossett, J. M. and Walker, L. P. (1997) High-solids aerobic decomposition : pilot-scale reactor development and experimentation, *Process. Biochemistry* 32(5), 361-375.
10. Kang, H. W., Zhang, R. H., Park, H. M., Ko, J. Y., Rhee, I. K. and Park, K. B. (1998) Effect of aeration on biological activities during composting of dairy manure in enclosed bench-scale reactor, *Korean J. Envir. Agr.* 17(3), 260-267.
11. De Bertoldi, M., Rutili, A., Citterio, B. and Civilini, M. (1988) Composting management : a new process control through O₂ feedback, *Waste Management Research* 6, 239-259.
12. Suler, D. J. and Finstein, M. S. (1977) Effect of temperature, aeration and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste, *Applied and Environmental Microbiology* 33, 345-350.
13. Schulze, K. L. (1961) Relationship between moisture content and activity of finished compost, *Compost Science* 2, 32-34.
14. Miller, F. C., Macauley, B. J. and Harper, E. R. (1991) Investigation of various gases, pH and redox potential in mushroom composting Phase stacks, *Australian Journal of Experimental Agriculture* 31, 415-425.
15. Dewes, T. (1995) Nitrogen losses from manure heaps : Nitrogen leaching in ecological agriculture, A B Academic Publishers, Grate Britain, 309-317.
16. Livestock Waste Facilities Handbook. (1985) MWPS-18, Second Edition, USA.