

돈분 퇴비화 시 공기 흡입 시스템에 따른 퇴비화 특성 변화

이동준[†], 김종곤, 정광화, 조원모, B. Ravindran

농촌진흥청 국립축산과학원

Characteristic Changes of Swine Manure by Air Suction Composting System

Dong-jun Lee[†], Jung Kon Kim, Kwang-Hwa Jeong, Won-Mo Cho, B. Ravindran

National Institute of Animal Science, RDA

(Received: Aug. 19, 2016 / Revised: Sep. 5, 2016 / Accepted: Sep. 5, 2016)

ABSTRACT: The objective of this study was to investigate the variations of physico-chemical properties during the swine manure composting, sawdust as the bulking agent was composted at different points (Top layer, Side of middle layer, Bottom layer). Air suction system with constant bottom aeration in bench scale reactors (30 L). The highest temperature was reached in the range of 58°C to 62°C on 3rd day and this thermophilic phase (> 50°C) was continued for 3 days in all the treatment mixtures. However, the temperature was gradually decreased to room temperature at the end of 60 day composting process. Except control, the discharged ammonia (NH₃) was a maximum in the treatment order of Top layer > Bottom layer > Side of middle layer as 500 ppm, 162 ppm and 120 ppm, respectively, on the 4th day and showing that Top layer point Air suction produce much more ammonia content than the other point. During the composting process, the total Kjeldahl nitrogen (TKN) was gradually increased due to the mass loss in the composting mixtures. At the same time, C/N ratio was decreased to Top layer, 13; Side of middle layer, 12 and Bottom layer, 13 at Air suction points. The significant reduction of C/N ratio in all different air suction system when manure was matured. The NH₄-N to NO₃-N ratio was recorded as 10.52 at the initial stage of the compost mixtures and reduced to 0.97 (Top layer), 0.70 (Side of middle layer), 3.2 (Bottom layer) because of manure decomposition. The overall results revealed that Top layer and Side of middle layer Air suction is a suitable option when compared other point for high quality composts.

Keywords: Swine manure, Composting, Air suction, Discharged ammonia

초 록: 본 연구는 돈분 퇴비화 시 공기흡입 시스템을 적용한 반응기 내 퇴비의 이화학적 성상을 조사하기 위하여 실시되었다. 본 연구에서는 톱밥을 수분조절제로 이용하여 돼지분뇨와 적절하게 혼합한 후, 총 용적 30 L 크기의 플라스틱 재질 반응기에서 실험을 수행하였다. 공기펌프를 이용하여 반응기 하단부에서 공기를 주입하였으며, 진공흡입펌프를 이용하여 반응기 상단부, 중앙 측면부, 하단부에서 각각 공기를 흡입 할 수 있게 설비 하였다. 온도의 경우, 퇴비화 개시 후 3일 째에 58°C~62°C로 가장 높게 관찰되었으며, 모든 시험구가 3일간 50°C 이상의 온도를 유지하는 것을 관찰할 수 있었다. 퇴비의 온도는 점차 안정화 되어 60일 이후 대기 온도와 비슷하게 감소했다. 퇴비단 표면에서 발생하는 암모니아는 대조구를 제외하고 퇴비화 개시 4일 째에 각각 상부

[†] Corresponding Author (e-mail: ldj0109@korea.kr)

흡입조건 : 500 ppm, 하부흡입조건 162 ppm, 중앙 측면흡입조건 120 ppm 순으로 가장 높은 발생량이 조사되었다. 퇴비 표면에서 발생한 암모니아의 경우, 상부흡입 처리구가 타 처리구에 비해 상대적으로 높은 암모니아 발생량을 보였다. 총 질소함량 (TKN)은 퇴비단의 질량 감소에 의해 점점 증가하는 것을 관찰할 수 있었고, C/N비는 초기 퇴비단이 23 이었으며, 퇴비화가 진행되면서 점차 감소해 최종적으로는 상부흡입조건 13, 중앙 측면흡입조건 12, 하부흡입 13으로 관찰되었다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 비율은 퇴비화 개시 시 10.52였으며, 점차 감소하여 퇴비화 종료일에 상부흡입조건 0.97, 중앙 측면흡입조건 0.70, 하부흡입조건 3.2로 관찰되었다. 결과적으로 상부흡입조건과 중앙 측면흡입 조건이 양질 퇴비를 만들기 위한 최적의 조건인 것으로 관찰되었다.

주제어: 돼지분뇨, 돈분, 퇴비화, 음압, 공기흡입, 암모니아 발생량

1. 서론

우리나라 가축분뇨 발생량은 해마다 차이가 있지만 2011년 이후 꾸준히 증가하는 추세이며, 2015년 기준으로 연간 46,529 천 톤에 해당하는 가축분뇨가 발생되었다. 각 축종별 가축분뇨 발생량을 살펴보면, 한·육우 13,416 천 톤, 젖소 5,721 천 톤, 돼지 17,223 천 톤, 닭 7,376 천 톤, 오리 425 천 톤으로 전체 발생량 대비 각각 30.7, 13.1, 42.3, 16.9, 1%에 해당한다.¹⁾ 이에 더해 2012년부터 가축분뇨의 해양 배출이 전면 금지됨에 따라, 가축분뇨의 적절한 처리에 대한 농가의 관심이 크게 증가하고 있으며, 특히 양질의 퇴·액비를 생산하는 방법에 더욱 관심이 커지고 있는 실정이다.

국내에서는 가축분뇨를 처리할 때, 주로 자원화한 후 경작지에 환원하거나 정화 처리하는 방법을 장려하고 있으며, 대부분의 자원화 처리는 공동자원화 시설을 통해 처리되도록 하는 실정이다. 공동자원화 시설은 환경부에서 제공하는 '가축분뇨자원화 시설 표준설계도 (2009)'에 따라 주로 퇴적송풍식 및 교반처리식 형태를 가지고 있는데,²⁾ 이와 같은 시설들은 퇴비화를 진행하기 위해 필요한 공기를 퇴비단 하부에 주입하는 양압 방식을 이용하고 있다.

가축분뇨 퇴비에 관한 연구는 국내에서 1980년대 이후부터 시작되었는데, 대부분의 연구가 공기펌프를 이용하여 반응기 하부에서 공기를 주입하는 방법을 통해 퇴비화 진행 중 이화화적인 성상변화를 관찰하는 것이었다.^{3,4)} 이와 같은 방식은 퇴비화 초기 암모니아를 포함한 다량의 가스상 물질이 발생

할 수 있으며 이는 각종 악취 민원의 주요 원인으로 작용할 수 있기 때문에 퇴비화 시 기존과 다른 해결 방안이 필요한 실정이다. 이미 국내에서도 이러한 문제를 해결하기 위해 퇴비화 시 공기흡입을 이용한 연구가 이루어져 왔지만⁵⁾ 대부분의 공기흡입식 퇴비화 연구는 음식물 쓰레기 퇴비화 방법에 국한되어 왔다. 해외의 경우, 일본에서는 돈분 퇴비화 시, 음압 시스템을 적용하였을 때 발생하는 NH_3 , N_2O 및 CH_4 과 같은 온실가스 물질의 특성을 조사한 사례가 있으며,⁶⁾ 타이완에서는 음식물 쓰레기를 음압식으로 퇴비화 했을 때의 변화를 연구한 사례가 있다.⁷⁾ 이와 같이, 국·내외에서 가축분뇨를 이용한 공기흡입식 퇴비화에 관한 연구를 일부 수행하였지만, 아직까지 많은 연구가 진행되지 않아 개선의 필요성이 남아있다.

따라서 본 연구는 가축분뇨 퇴비화에 있어서 공기흡입 방법에 따른 퇴비화 특성변화 및 공기흡입 위치가 퇴비화에 미치는 영향을 분석하기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 퇴비화 재료

본 실험에 사용된 돈분은 국립축산과학원 내 슬러리 돈사에서 수거된 것으로, 수분함량이 약 75%인 돈분을 이용하였다. 또한 수분조절제로 쓰인 톱밥은 수분함량이 17%로 조사되었으며, 돈분과 톱밥을 적절히 혼합하여 초기 수분 함량이 64%인 퇴비

Table 1. The Composition of the Raw Materials used in this Study

Item	MC ¹⁾ (%)	DM base(%)				
		OM ²⁾	T-N	T-P	C/N	
Raw material	Swine manure	74.73	21.18	1.97	0.69	16.94
	sawdust	16.79	74.94	0.09	0.02	223.3
	compost	64.17	32.04	1.6	0.74	23.44

¹⁾ MC : Moisture content, ²⁾ OM : Organic matter

를 제조하였다. 생분과 톱밥에 대한 성분조성은 Table 1에 나타내었다.

2.2. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 퇴비화 반응기 구조에 대한 개요도 및 사진을 나타낸 것이다. 퇴비화에 쓰인 반응기는 총 용적이 30 L인 플라스틱 재질의 원통형 반응기를 사용하였다. 공기 공급을 위해 반응기 하부에 산기석을 설치하고 내경 4 mm 우레탄 호스를 연결한 후, 에어펌프를 이용하여 공기를 공급하였다. 이 때, 공급되는 공기는 유량계를 통해 그 양을 조절 할 수 있게 하였다. 공기 흡입을 위해 반응기마다 상부, 중앙 측면, 하부 중 한 방향을 설정하여 공기 흡입구를 설치 한 후, 4 mm 우레탄 호스를 연결하여 공기를 흡입 할 수 있게 하였다. 공기 흡입은 진공흡입펌프를 통해 실시하였으며, 공기 공급과 마찬가지로 유량계를 통해 흡입하는 양을 조절 할 수 있도록 하였다. 반응기 하부에는 산기석이 퇴비의 하중에 견딜 수 있도록 지지대를 설

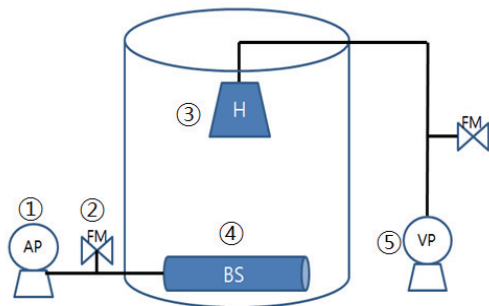
치하였으며 거름망을 그 위에 설치하여 퇴비의 직접적인 접촉을 막을 수 있도록 하였다.

2.3. 퇴비화 실험 조건

퇴비화를 위한 반응기에 주입하는 공기량은 가축 분뇨 자원화시설 표준설계도 해설서에서 제시한 공기주입량을 참고하였으며, 에어펌프를 이용하여 모든 처리구에 100 L min⁻¹m⁻³를 주입하였고, 공기 흡입 위치는 상부 (B), 중앙 측면 (C), 하부 (D)로 설정하여 100~166 Lmin⁻¹m⁻³의 공기를 진공흡입 펌프를 통해 흡입하도록 설정하였다. 또한 대조구 (A, 공기 흡입 무설치 처리구)를 설치하여 비교 실험을 진행하였다. 퇴비화 뒤집기는 퇴비 온도가 하락 후 정체기에 있는 25일째 1회 실시하였다.

2.4. 분석방법

퇴비화 진행 중에 퇴비온도의 변화, 암모니아 (NH₃) 발생농도, 이산화탄소 발생농도 (CO₂), 수분 감소량, 유기물 (OM), EC, 암모늄태 질소 (NH₄-N),



Schematic diagram

① Air pump ② Flow Meter ③ Hood ④ Bubble Stone ⑤ Vacuum pump



Swine manure composting reactor

Fig. 1. Schematic diagram and photograph of composting reactor.

아질산성 질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 총켈달질소 (TKN), 탄질비 (C/N ratio) 등을 조사하였다. 퇴비화 과정 중의 온도변화는 반응기에 설치된 온도계를 통해 매일 오전 (09:00), 오후 (17:00) 총 2회 조사하였으며, 퇴비 상부표면에서 발생하는 암모니아 (NH_3)와 이산화탄소 (CO_2)는 GASTEC (Kitagawa, AP-20, Japan)을 이용하여 조사하였다. 퇴비화 기간 중 시료채취는 초기 일주일 동안은 매일 채취하였고, 이후에는 5일 간격으로 시료를 채취하여 퇴비 분석을 실시하였다. 수분감소량과 유기물 (OM)은 농촌진흥청 비료공정규격 설정 및 지정 중 '비료의 이화학적 검사 방법'을 참고하여 수행하였다. EC (YSI Environmental, YSI 3100, USA)는 시료 10g을 증류수 90ml와 혼합하여 교반기에 넣고 1시간 교반한 후, 측정하였으며, 총 켈달질소 (TKN), 암모늄태 질소 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 아질산성 질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$)는 켈달법으로 분석을 실시하였다. C/N비는 원소분석기 (Elemental Analysensysteme, vario MACRO, Germany)를 이용해 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 퇴비 부숙 정도에 따른 온도변화

퇴비화 기간 중의 온도변화를 Fig. 2에 나타내었다. 온도는 퇴비화 진행과정을 쉽게 파악할 수 있는

중요한 인자로 퇴비화 진행 중 미생물이 유기물을 분해하면서 방출하는 열로 인해 온도가 상승한다.^{8,9)} 본 실험에서는 모든 퇴비화 반응기에서 퇴비화 개시 후 3일째에 온도가 $58^\circ\text{C}\sim 62^\circ\text{C}$ 내외로 상승하였으며 약 3일간 $50^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$ 사이의 높은 온도를 유지하는 것을 관찰할 수 있었다. Hansen 등 (1995)은 퇴비화 과정 중 퇴비의 온도가 $55^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$ 사이에서 3일 이상 유지되면 퇴비 내 유해 세균이 사멸한다고 하였고¹⁰⁾, 본 연구에서도 유사한 결과를 보여 이 기간 동안 유해 세균이 사멸 되었을 것으로 판단된다. 대조구를 제외한 나머지 퇴비화 반응기의 경우, 상승한 퇴비 온도는 퇴비화 개시 5일 이후로는 점차 하강하였다. 반면에, 반응기 하부에서 공기 주입만 이루어진 대조구의 경우, 타 실험구에 비해 온도가 완만하게 하강하는 것을 관찰할 수 있었으며, 1차 뒤집기 이후에도 온도가 49°C 까지 가장 높게 상승하고 서서히 하강하는 것을 보였다. 이 결과는 양압과 음압을 동시에 사용하는 타 처리구에 비해 대조구가 양압만을 이용하기 때문에 퇴비 내 유기물의 분해 속도가 상대적으로 더딘 것으로 판단된다. 반면 하부흡입조건의 경우, 퇴비화 과정 중 퇴비 하단부 쪽에서 상대적으로 수분이 급격하게 감소하여 전체적인 퇴비 온도감소에도 영향을 미치는 것이 관찰 되었으며, 이는 퇴비 하단부에서 공기 주입과 흡입이 동시에 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

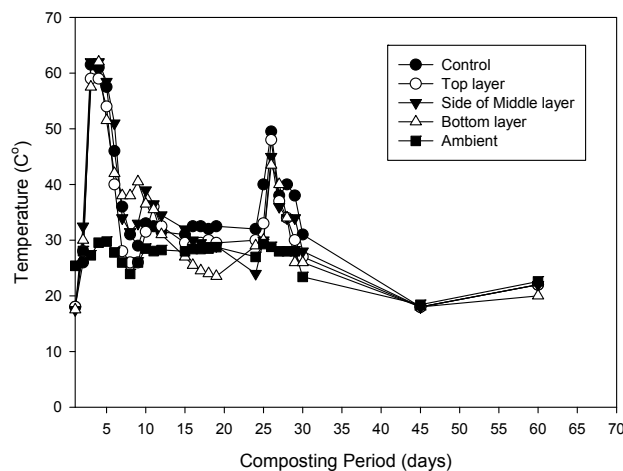


Fig. 2. Variations of temperature during pig manure composting period ($^\circ\text{C}$).

3.2. 퇴비 부숙 정도에 따른 수분 및 유기물 함량의 변화

퇴비화 과정 중의 수분 함량의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 통상적으로 퇴비화 개시를 위한 적정 수분함량은 65% 내외에 해당하며, 본 연구에서는 돈분과 톱밥을 적절히 혼합하여 개시 수분을 64%로 조절 한 후, 연구를 수행하였다. 모든 시험구에서 퇴비화 진행과정에 따라 수분함량이 점차적으로 감소하기 시작하였다. 퇴비화 전체 기간 동안 각 처리구의 수분함량 감소율은 각각 대조구 10, 상부흡입 24, 중앙 측면흡입 24, 하부흡입 33%를 보여, 대조구에서 가장 낮은 수분감소율을, 하부흡입조건에서

가장 높은 수분 감소율을 보였다. 일반적으로 퇴비 내 수분감소는 미생물이 유기물을 분해하면서 발생하는 대사열에 기초한 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ 또한 Miller (1985)는 퇴비화 과정에서 초기 수분함량 대비 20~30%의 수분이 감소할 수 있다고 보고하였으며,⁹⁾ 홍 (2001)은 최종적으로 30~40%수분함량의 퇴비가 양질 퇴비에 부합된다는 연구¹²⁾를 보고한 바 있다. 이러한 연구 결과에 비해 본 연구의 대조구 수분함량은 타 처리구에 비해 다소 높은 것이며, 상부흡입조건과 중앙 측면흡입조건의 퇴비가 양질 퇴비에 부합한다고 판단된다. Fig. 4는 퇴비화 기간 중 유기물 함량의 변화를 나타내었다. 초기 톱밥의

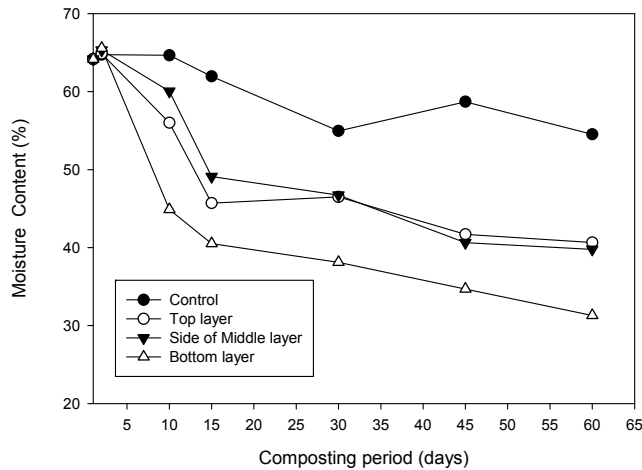


Fig. 3. Variations of moisture content during pig manure composting period(%).

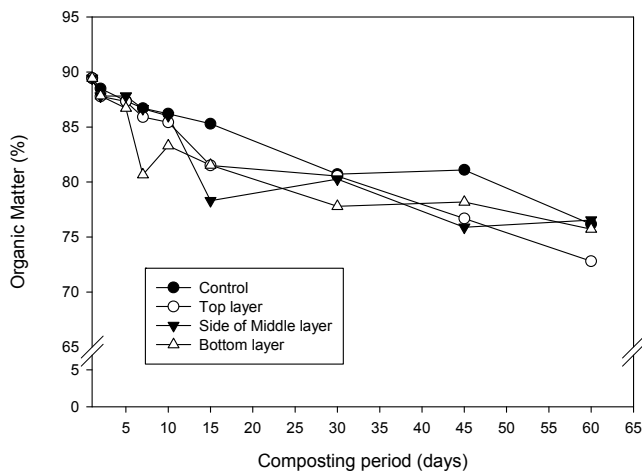


Fig. 4. Variations of OM content during pig manure composting period (%).

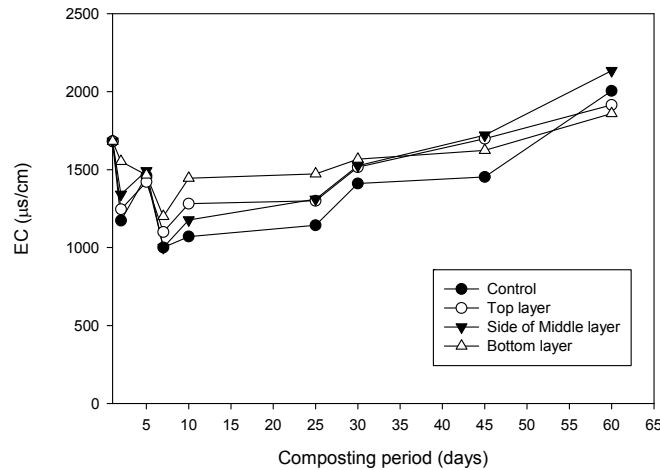


Fig. 5. Variations of EC content during pig manure composting period ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

유기물 함량은 90, 돈분은 84%로 조사되었으며 이를 혼합한 초기 퇴비단의 유기물 함량은 89%였다. 유기물 함량의 경우 퇴비화 기간 동안 전체적으로 감소하는 것을 관찰할 수 있었고, 이는 가축분뇨 퇴비화 시 미생물의 탄소 배출로 인해 유기물이 감소한다는 이 등 (2001)이 보고한 연구결과와 일치하였다.¹³⁾

3.3. 퇴비 부숙 정도에 따른 전기전도도의 변화

퇴비화 과정 중 EC (Electrical Conductivity)의 변화는 유기물이 분해되면서 발생하는 이온들로 인한 것으로 알려져 있으며, 일반적으로 퇴비화 과정 중 발생하는 NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P 등에 의해 변화하는 것으로 조사된 바 있다.¹⁴⁾ 본 연구에서는 Fig 5와 같이 퇴비화 전 기간 동안 전기전도도가 대체적으로 증가하였다. 이러한 변화는 정 등(2003)의 연구결과와 일치했다.¹⁵⁾

3.4. 퇴비 부숙 정도에 따른 암모니아와 이산화탄소 발생량

퇴비화 과정 중 암모니아와 이산화탄소의 발생량을 Fig. 6 과 Fig. 7에 나타냈다. 암모니아는 퇴비 내 유기성 질소물질이 무기성 질소물질로 전환되는 과정에서 발생하는 기체물질로, 퇴비화 온도가 상승하는 초기에 영향을 받아 다량으로 발생된다. 본 연구에서도 퇴비화 초기 3일째에 온도가 상승한 것

에 영향을 받아 4일째에 대조구 500, 상부흡입조건 500, 중앙 측면흡입조건 120, 하부흡입조건 162 ppm 으로 가장 높게 조사되었다. 이는 Dewse 등이 보고한 퇴비단 온도가 상승할수록 암모니아 발생량이 높아진다는 연구 결과와 일치하였다.¹⁶⁾ 대조구에서 퇴비화 5일째에 720 ppm으로 타 처리구보다 더 많은 암모니아가 발생된 이유는 대조구 반응기의 특성상 상부에서 발생된 암모니아가 휘산되지 못하고 반응기 내부에 체류되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 퇴비화 기간 6일째 이후의 암모니아 발생량은 점점 감소하였으며, 퇴비화 기간 동안 암모니아 발생량을 조사한 결과 대조구와 상부흡입조건에 비해 중앙 측면과 하부흡입조건에서의 암모니아 발생량이 상대적으로 적게 발생했다는 것을 알 수 있었다. 이는 암모니아의 비중이 공기보다 훨씬 낮은 0.587이기 때문에 하부나 중앙 측면보다 퇴비단 표면 위에서 가장 많이 포집되는 것으로 판단되며 따라서 상부흡입을 이용하면 퇴비화 과정 중 발생하는 암모니아를 용이하게 포집할 수 있을 것으로 사료된다. 이산화탄소는 퇴비화 과정 중 미생물의 유기물 분해에 의해 발생하는 최종산물로 미생물의 활성을 간접적으로 확인할 수 있는 지표로 이용될 수 있다. 일반 대기에서 평균적으로 관찰되는 이산화탄소의 농도는 500 ppm 이었으며 퇴비화 진행 3일째에 하부흡입조건을 제외한 타 처리구에서 5,000 ppm 이상이 관측되었다. 퇴비화 기간 동안

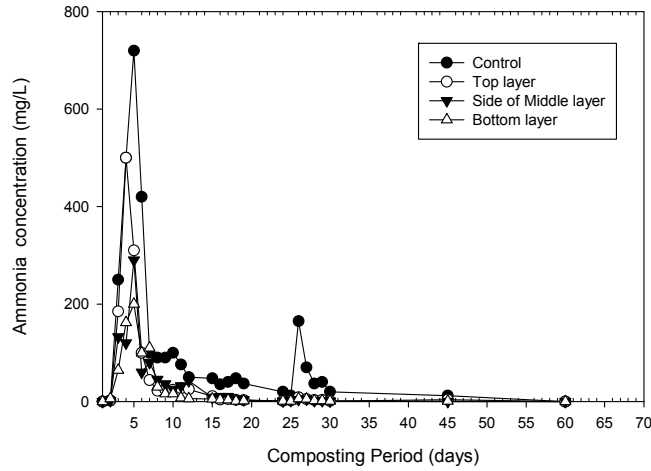


Fig. 6. Variations of ammonia concentration during pig manure composting period (mg/L).

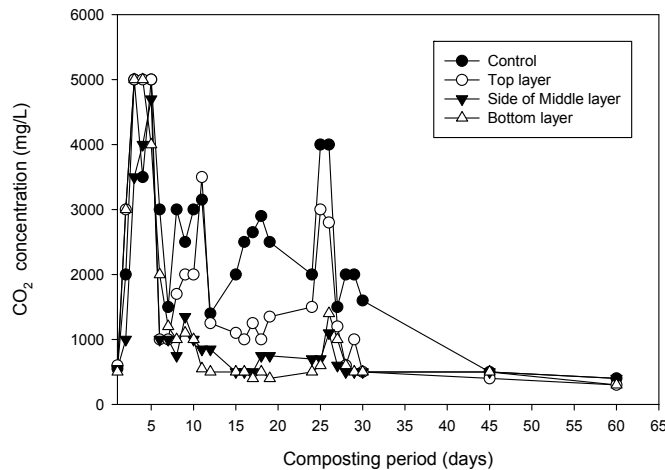


Fig. 7. Variations of CO₂ concentration during pig manure composting period (mg/L).

이산화탄소 발생량을 조사한 결과, 암모니아 발생 결과와 마찬가지로 중앙 측면흡입과 하부흡입조건에 비해 대조구와 상부흡입조건에서 높게 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 퇴비 부숙 정도는 흡입 위치에 따라 달라질 수 있을 것으로 생각된다.

3.5. 퇴비 부숙 정도에 따른 암모늄태 질소와 질산성 질소의 함량 변화

퇴비화 과정 중의 암모늄태 질소와 질산성 질소의 변화를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 암모늄태

질소는 퇴비화 초기 아미노산의 산화 작용으로 인해 생성되며 pH 정도에 따라 유리 NH₃로 변하거나 퇴비에 무기이온 상태(NH₄)로 축적되는지가 결정된다. 생성된 암모늄태 질소는 퇴비 후숙시기를 기점으로 호기적 상태에서 질산화작용으로 인해 아질산, 질산 상태를 거치면서 질산성 질소를 발생시킨다. 본 연구 결과에서 암모늄태 질소는 퇴비화 5일째에 가장 높게 (2,025~3,084 mg/L) 관찰되었으며 점점 감소하였고, 질산태 질소는 퇴비화 30일간은 낮은 수치를 보이다가 후숙시기(45일 이후)에 283~742 mg/L로 급격히 증가하는 결과를 나타냈

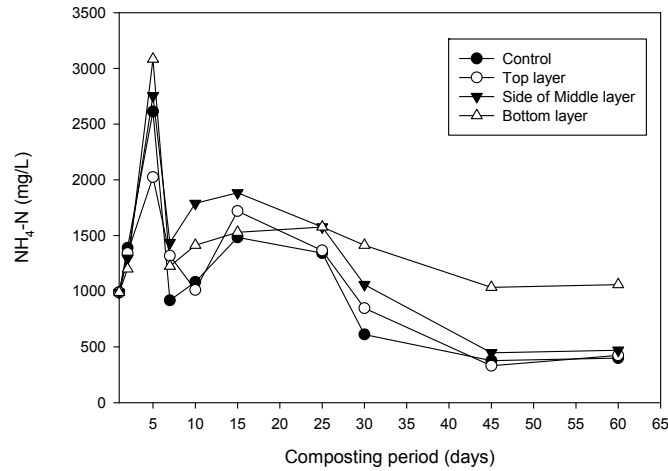


Fig. 8. Variations of $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration during pig manure composting period (mg/L).

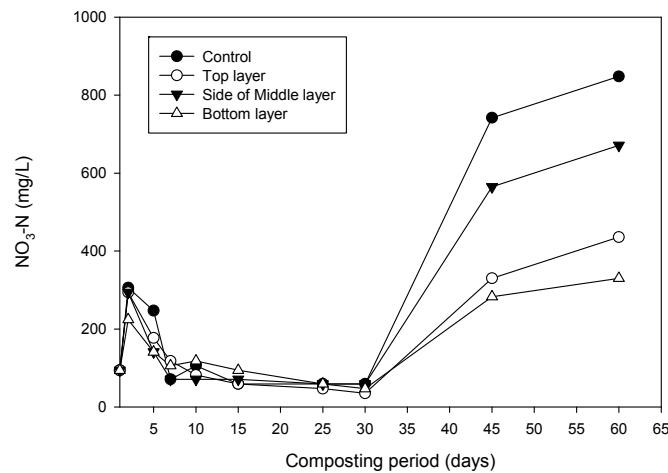


Fig. 9. Variations of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration during pig manure composting period (mg/L).

다. 이러한 퇴비화 단계별 질소물질의 변화 양상은 김 등 (2004)이 보고한 결과와 일치하였다.¹⁷⁾ 각 처리구의 분석 결과를 비교했을 때, 퇴비화 초기에 하부흡입조건의 실험구에서 가장 많은 암모늄태 발생량을 보였지만 퇴비화가 진행 될수록 그 감소량이 더더져 결과적으로 질산화반응이 충분히 이루어지지 못하였고, 이는 낮은 질산성 질소 발생량의 원인으로 조사되었다. Riffaldi 등 (1986)은 가축분뇨 퇴비화 시 부숙을 판별하는 지표로써 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 증가와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 감소를 이용할 수 있다고 보고하였으며,¹⁸⁾ Bernal 등 (1998)은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의

비율이 1이하일 때 이를 완숙퇴비로 간주 할 수 있다고 보고하였다.¹⁹⁾ 본 연구에서 $\text{NH}_4\text{-N} : \text{NO}_3\text{-N}$ 의 비율을 Table 2에 나타냈다. 퇴비화 시작 시 $\text{NH}_4\text{-N} : \text{NO}_3\text{-N}$ 의 비율은 10.52로 동일했고, 퇴비화가 진행될수록 점점 높아져 15일째 가장 높은 수치를 보였다. 이 후, 질산성 질소의 급격한 증가가 시작된 30일 이후부터 비율이 하락하여 최종적으로 대조구 0.47, 상부흡입 0.97, 중앙 측면흡입 0.7, 하부흡입 3.2의 수치를 보여 하부흡입을 제외한 모든 실험구가 1이하의 값을 나타냈다.

Table 2. Variations of NH₄-N : NO₃-N ratio during Swine Manure Composting

Items	Composting period						
	1	5	10	25	30	45	60
Control	10.52	10.57	10.21	22.74	10.37	0.5	0.47
Top layer	10.52	11.44	12.34	29.06	24.22	1	0.97
Side of middle layer	10.52	19.53	25.19	26.72	17.94	0.79	0.70
Bottom layer	10.52	21.87	11.97	26.72	30.06	3.66	3.2

3.6. 퇴비 부숙 정도에 따른 총 켈달질소와 C/N비의 함량 변화

퇴비화 과정 중 총 켈달질소의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 총 켈달질소 (Total Kjeldahl Nitrogen)는 유기성 질소에 무기성 질소 즉, 암모니아성 질소를 포함한 값으로 퇴비 비료성분인 전체 질소함량을 측정하는 실험으로 사용된다. 본 연구에서 이용된 돈분의 총 켈달질소는 1.97, 톱밥은 0.1%로 측정되었으며 이를 혼합한 퇴비단 초기 총 켈달질소의 함량은 1.6%로 관찰되었다. 질소의 변화 양상은 퇴비화 전 기간 동안 변동이 크지만 퇴비화가 진행됨에 따라 수분감소로 인한 질량감소 (Mass Loss)로 인해 수치가 상승하는 것이 관찰 되었다. 퇴비의 총 질소 감소는 Bernal 등 (2009)이 연구한 가축분뇨 퇴비화 시, 총질소의 상승은 질량손실에 영향을 받는다는 연구결과와 일치하였다.²⁰⁾ 그리고 Rui Guo 등 (2012)의 연구에서는 일반적으로 퇴비화 초기단계에서는 질소가 암모니아 가스로 방출되지만 매우

적은 양에 불과하며, 그 후 중온성 단계에서는 암모니아 방출에 비해 이산화탄소나 수증기로 인해 방출되는 질량 감소에 영향을 더 크게 받아 전체적인 질소의 함량은 상승한다는 연구 결과를 보고하였다.²¹⁾ 본 실험에서 일반적인 공기주입식 퇴비화 실험에 비해 양·음압 퇴비화 처리구의 총 켈달질소 증가율이 더 높은 것을 관찰할 수 있었다. 이는 퇴비화 실험에서 반응기 내에 양·음압 시스템을 모두 적용한 방식이 기존 공기 주입식 퇴비화 방법에 비해 공기 주입량이 많기 때문인 것으로 생각된다. Fig. 11은 퇴비화 과정 중의 C/N비 함량의 변화를 나타낸 것이다. C/N비는 축분 퇴비화에 있어 수분, 온도와 함께 부숙을 판단할 수 있는 지표로 이용되며, 통상적으로 퇴비 부숙 초기의 적절한 비율은 25~35 수준으로 알려져 있다. 본 연구에 이용된 톱밥, 돈분 및 이를 혼합한 초기퇴비단의 C/N비는 각각 223, 17, 23으로 조사되었다. C/N비가 약간 낮은 이유는 초기 수분함량을 64%에 고정시키기 위하

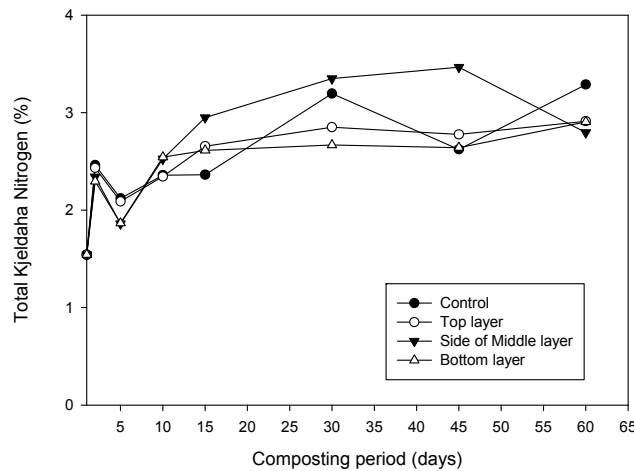


Fig. 10. Variations of total Kjeldahl nitrogen during pig manure composting period (%).

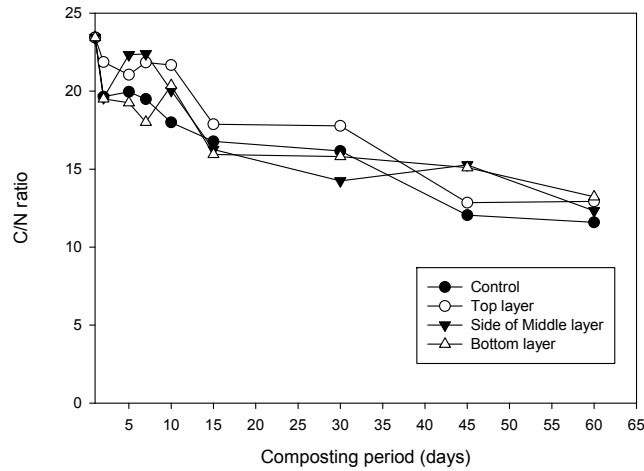


Fig. 11. Variations of C/N ratio during pig manure composting period.

여 상대적으로 돈분 대비 톱밥의 양이 적게 혼합되었기 때문으로 판단된다. 퇴비화 과정 중 C/N의 변화는 통상적인 다른 연구와 비슷하게 퇴비화 초기에 감소량이 높게 관찰되었으며, 결과적으로 대조구에서 12, 상부흡입조건 13, 중앙 측면흡입조건 12, 하부흡입조건 13의 결과를 나타내어 실험구간의 큰 차이를 보이지 않았다.

4. 결론

양돈 분뇨를 대상으로 밀폐식 반응기 내에서 음압 위치의 변화에 따른 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 퇴비화 개시 후 3일째에 각 시험구의 퇴비단 온도가 58~62°C 내외로 상승하였으며, 5일 이후로는 점점 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 특히 대조구는 타 처리구에 비해 온도가 완만하게 하강하는 것이 관찰 되었으며, 이는 양압과 음압을 동시에 사용하는 타 처리구에 비해 대조구가 양압만을 이용하기 때문인 것으로 사료된다. 반면 하부흡입 조건의 경우 퇴비화 과정 중에 퇴비 하단부에서 상대적으로 급격히 수분이 감소해 퇴비단의 고른 수분감소를 저해하는 것으로 관찰되었다.
2. 돈분과 톱밥을 적절히 혼합하여 퇴비화 개시

수분을 64%로 조절하였으며, 퇴비화 진행과정에 따라 각 처리구의 수분함량은 점차적으로 감소하였다. 퇴비화 종료 후 퇴비단의 수분감소율은 대조구 10, 상부흡입조건 24, 중앙 측면흡입조건 24, 하부흡입조건 33%를 보여, 대조구에서 가장 낮은 수분감소량과 하부흡입 조건에서 가장 높은 수분 감소량을 보였다.

3. 퇴비화 과정 중 전기 전도도는 유기물이 분해되면서 발생하는 이온들로 인해 나타나는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서는 퇴비화 전 기간 동안 각 처리구의 전기전도도가 유사하게 상승하는 것을 관찰할 수 있었다.
4. 퇴비화 과정 중 암모니아 발생량은 퇴비화 초기 4일 째에 가장 높게 나타났으며, 하부나 중앙 측면흡입조건에 비해 상부흡입조건과 대조구에서 많이 발생하는 것을 관찰 할 수 있었다.
5. 본 연구에서 암모늄태 질소는 퇴비화 5일 째에 가장 높게 관찰되었고 (2,025~3,084 mg/L), 점점 감소하는 것을 관찰 할 수 있었으며, 질산태 질소는 후숙기 이후에 283~742 mg/L로 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. NH₄-N과 NO₃-N의 비율을 조사한 결과, 대조구 0.47, 상부흡입조건 0.97, 중앙 측면흡입조건 0.7, 하부흡입조건 3.2로 관찰되었다.
6. 퇴비화 과정 중의 총 췌달질소의 변화는 퇴비화가 진행됨에 따라 질량감소로 인해 전체적

으로 증가하는 것으로 나타났으며, 대조구에 비해 양·음압을 모두 이용한 처리구에서 총 켈달질소 증가량이 다소 높은 것을 관찰할 수 있었다. C/N비의 경우, 퇴비화 초기 톱밥, 돈분 및 이를 혼합한 초기퇴비단의 C/N비는 각각 223, 17, 23으로 조사되었다. 퇴비화 과정 중 C/N의 변화는 퇴비화 초기에 감소량이 높게 관찰되었으며, 결과적으로 대조구에서 12, 상부흡입조건 13, 중앙 측면흡입조건 12, 하부흡입조건 13의 결과를 나타내어 실험구 간의 큰 유의적인 차이를 보이지 않았다.

7. 결과적으로 공기흡입 위치에 따른 퇴비화 특성 변화를 조사한 결과, 상부흡입 및 중앙 측면흡입 조건이 퇴비화에 적합한 조건인 것으로 관찰되었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 기관고유과제인 공기흡입에 의한 퇴비화 방법 연구(PJ01084201)과정에 의해 이루어 졌으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Korean Ministry of Agriculture, Food and Rural Affair, "Yield of livestock manure in South Korea" (2016).
2. The Department of Environment of South Korea, "Standard Design for Livestock Manure Treatment Facility" (2009).
3. Jeong, K. H., Kang, Ho., Kim, T. I., Park, C. H., Yang, C. B., "Effect of Aeration on the Physicochemical Characteristics of Livestock Feces Composting during Composting Period", Journal of Korea Organic Resource Recycling Association, 11(4), pp. 57-65. (2003).
4. Hong, J. H., Matsuda, J., Ikeuchi, Y., "A study on Improvement of Animal Composting Operation in Korea", Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery, 9(1), pp. 62-70. (1984).
5. Choi, K. H., Park, S. H and Zong, M. S., "Composting of Swine Feces Using Sawdust, Rice Straw, Rice Hull or Newspaper as a Bulking Material", Kor. J. Env. Hlth. Soc., 21(1), pp. 56-67. (1995).
6. Yasuyuki Fukumoto, Takashi Osada, Dai Hanajima, Kiyonori Haga, "Patterns and Quantities of NH₃, N₂O and CH₄ Emissions during Swine Manure Composting Without Forced Aeration-Effect of Compost Pile Scale", Journal of Bioresource Technology, 89(2), pp. 109-114. (2003).
7. Chitsan Lin, "A Negative-Pressure Aeration System for Composting Food Waste", Journal of Bioresource Technology, 99(16), pp. 7651-7656. (2008).
8. Haug, R. T., The Practical Handbook of Composting engineering, Lewis Publishers, INC, Ann, Arbor(1993)
9. Miller, F. C., Thermodynamic and Matric Water Potential Analysis in Field and Laboratory Scale Composting Ecosystem, PhD dissertation, Rutgers University, University Microfilms, Ann Arbor, MI. (1985).
10. Hansen, R. C., Manel, K. M., Keener, H. M and Hoitink, H. A. J., "The Composting Process-A Natural way to Recycle Waste", OSUE., Bulletin 792, The Ohio State University. Columbus, OH (1995).
11. Miller, F. C. and Finstein, M. S., "Materials Balance in the Composting of Wastewater Sludge as Affected by Process Control", J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 57(2), pp. 122-127. (1985).
12. Hong, J. H., "Composting Agricultural Waste", Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery, 26(1), pp. 67-73. (2001).
13. Lee, J. T., Nam, Y. G., Lee, J. I., "Change of Physico-chemical Properties and Microflora of Pig Manure due to composting with some Bulking Agents", Korean journal of Soil Science and Fertilizer, 34(2), pp. 134-144. (2001).
14. Inbar, Y., Hadar, Y and Chen, Y., "Recycling of cattle manure : The Composting Process and Characterization of Maturity", J. Environ. Qual., 22(4) pp. 857-863. (1993).

15. Jeong, K. H., Kang, H., Kim, T. I., Park, C. H., Yang, C. B., "Effect of aeration on the Physicochemical Characteristics of Livestock Feces Compost during Composting Period", *J. Organic Resource Recycling Association*, 11(4), pp. 57–65. (2003).
16. Dewes, Th., "Nitrogen Losses From Manure Heaps : Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture", A B Academic Publishers, Great Britain, pp. 309–317. (1995).
17. Kim, T. I., Song, J. I., Yang, C. B., Kim, M. K., "Studies on a Factor Affecting Composts Maturity During Composting of Swine Manure", *J. Anim. Sci. & Technol. (Kor.)*, 46(2), pp. 261–272. (2004).
18. Riffaldi, R., Levi-Minzi, R., Pera, A. and Bertoldi, M. de., "Evaluation of Composting Maturity by Means of Chemical and Microbial Analysis", *J. Waste manage. Res.*, 4(4), pp. 387–396. (1986).
19. Bernal, M. P., Navarro, A. F., Sanchez-Monedero, M. A., Roig, A. and Cegarra, J., "Influence of Sewage Sludge Compost Stability and Maturity on Carbon and Nitrogen Mineralization in Soil", *J. Soil Biology and Biochemistry*, 30(3), pp. 305–313. (1998).
20. Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., Moral, R., "Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Composting Maturity Assessment", A review, *Bioresource Technology*, 100(22), pp. 5444–5453. (2009).
21. Rui Guo, Guoxue Li, Tao Jiang, Frank Schuchardt, Tongbin Chen, Yuanqiu Zhao, Yujin Shen, "Effect of Aeration Rate, C/N ratio and Moisture Content on the Stability and Maturity of Compost", *Bioresource Technology*, 112 pp. 171–178. (2012).