

화학적처리 양돈폐수 잉여오니와 톱밥 혼합물 퇴비화 및 퇴비탈취처리

홍지형·박금주

순천대학교 산업기계공학과

Composting Chemical Treated Hog Wastewater Excess Sludge Amended with Sawdust and Compost Biofiltration

Hong, Jihyung and Park, Keumjoo

Dept. of Industrial Machinery Engineering, Sunchon National University 540-742 Korea

Summary

The effects of turning frequency were examined on the efficiency of composting lime treated excess sludge amended with sawdust from the activated sludge process after a liquid/solids separation process. The raw and excess sludge from the activated sludge process associated with the hog wastewater treatment system is a significant problem and composting is an effective method for reducing the pollution potential of hog wastewater sludge. The coagulant used sludge composting and ammonia emissions from composting are not well established. The effect of compost properties such as high total carbon, C/N ratio and pH value on performance of composting sludge and biofiltration of ammonia from composting process were investigated. The ammonia emission was not significantly increased during composting. The ammonia concentrations of the exhaust air of composter were ranged from 0.5 and 7 ppm about 12 days after composting. The performance of the hog wastewater sludge composting was the most sensitive to chemical treated sludge properties such as high total carbon and high C/N ratio of the initial compost mixes. Temperature in compost and ammonia emission were not greatly affected by the turning frequency.

(Key words : Manure compost biofilter, Animal manure composting, Ammonia emissions, Animal wastewater sewage sludge composting)

서 론

가축 배설물 고액 분리액의 높은 정화처리는 호기성미생물처리 방식의 연속식 활성오니법으로 처리되며, 고액 분리조와 저류조(희석조)에서 발생된 생 오니 및 침전조에서 일어진 잉여오니는 고액분리기, 탈수기 및 응집제 등으로서 탈수처리 후에 고액분리 돈분

및 톱밥 등과 섞어 퇴비화처리가 바람직하다.

본 연구는 양돈폐수정화처리에서 배출된 화학적(석회 및 유기고분자 응집제)처리 잉여오니를 부자재인 톱밥과 혼합하여 3주간 주발효 퇴비화 기간에 퇴비교반 횟수가 퇴비화 온도, 퇴비재료의 이화학적 성질 변동 및 암모니아 가스의 퇴비탈취 등에 미치는 영향을 파악하여, 악취오염을 방지하는 합리적인 개방형

통기 교반식 퇴비화시설을 개발하는데 있다.

하수 및 폐수 잉여오니의 퇴비화처리는 발효 건조한 퇴비에 잉여오니를 혼합하여 연속 퇴비화 처리하는 방식 및 톱밥, 왕겨, 순환퇴비 등을 섞어서 수분조정 후에 퇴비화처리 하는 방식 등이 있으나, 성분과 비료효과 등에는 큰 차이가 있다. 석회 및 유기고분자 응집제 처리 오니를 장기간 연용하면, 석회처리 오니는 토양을 알카리화시키고, 유기고분자 응집제 처리는 토양을 산성화 되므로 정기적으로 토양 산도 검사가 필요하다(Matsuzaki, 1994).

축분 퇴비화 실제적인 성능은 퇴비 재료수분 60-70%(wb), 산도 7 이하, 탄질비 20 내외, 통기량이 0.6-0.7 L/min.kg.dm 일 때에 가장 우수하며, 이때에 퇴비화 암모니아 휘산농도는 300 ppm 정도로 가장 크게 발생되었다(Hong and Park, 2005b; 홍, 2003; 홍, 2002).

축분 퇴비화 주 발효 기간에 배기가스 내부의 암모니아 농도는 퇴비화 온도가 고온영역 및 퇴비화 재료 산도가 알카리성 상태에서 2,000 ppm의 고농도를 나타내고 있었다. 암모니아 농도는 퇴비재료의 알카리성 산도(8 이상)와 저위 탄질비(20 이하) 및 60°C 이상의 퇴비화 온도에 관계 되었으며, 퇴비화 시작과 교반 직후에 크게 증대하는 경향을 나타내고 있었다(홍, 2005; Elwell 등, 2002; Ekinci 등, 1999).

퇴비재료가 알카리성이므로, 고농도 암모니아가스가 발효 시작 후 12일 동안에 다량발생되었으며, 주 발효 기간에 퇴비화 온도 (60°C 이상)가 2주일 이상이 소요되어 있고, 상당히 느리게 부숙이 진행되고 있었다. 축분 퇴비 바이오필터의 암모니아 제거효율은 1일 1회 교반 처리 퇴비화 할 때에 전 기간에 99-100% 정도로서, 1일 2회 교반 및 무 교반 처리에 비하여 탈취효율이 가장 높았다(Hong and Park, 2005a).

축분 퇴비 생물학적 탈취처리는 악취가스와 휘발성 유기물질을 박테리아, 악티노미세트 및 푸지 등의 호기성 미생물이 탄산가스, 물, 미네랄, 무취 공기 등으로 분해하는 생물

학적 처리이다. 악취물질의 실질적인 분해는 흡착과 생물학적 산화 작용으로 대별된다. 악취물질이 바이오필터 매체를 통과하면, 악취물질은 고형상의 입자 주위에 있는 수분 생물막에 흡착과 확산되어진다. 미생물은 흡착한 악취물질을 탄산가스, 물, 미네랄 등의 형태로 전환한다(홍, 2002).

퇴비화 시설에서 배출된 악취물질은 가스와 휘발성 유기혼합 물질로 구성되며, 악취물질 발생에 미치는 영향요인은 기후와 지형, 시간 및 계절의 변화, 가축생육단계, 가축배설물관리 시스템 및 악취물질 농도에 미치는 미생물 역할 등이다. 가축배설물 관리에서 배출되는 악취물질은 유황 혼합물, 질소 혼합물, 휘발성 지방산 및 폐놀과 알콜 등이다(Pfost 등, 1998).

암모니아는 가축배설물의 생물학적 분해로서 발생되는 악취가스 중에 하나로서, 축분 내에 유기물질의 자연분해로서 다량배출 되어지며, 암모니아 휘산은 퇴비화 보름 동안에 고온영역(60-70°C)에서 거의 90%가 발생된다(Hong 등, 1997).

일반적으로, 우리나라 고형 축분 퇴비화시설은 밀폐형 퇴비화시설보다는 개방형 통기교반식 퇴비화시설이 많이 보급되고 있으나, 양돈폐수 등의 정화처리시설에서 배출되는 고액분리 축분, 분리액 저류조의 생 오니 및 침전조의 잉여오니 등의 개방형 통기교반식 퇴비화처리 및 퇴비화 악취물질인 암모니아를 비롯한 휘발성 유기물질 그리고 휘발성 지방산 등의 대기오염물질에 관한 오염물질 제거 처리기술은 미개발상태로서 퇴비화시설 주변에 축산 환경오염 문제가 심각하다.

따라서, 본 연구 목적은 개방형 통기식 퇴비화처리에서 교반 횟수가 양돈폐수의 활성오니법 정화처리에서 발생된 화학적처리 잉여 오니를 톱밥과 혼합하여 퇴비화 할 때에 퇴비화 온도, 주요성분 변동 및 퇴비화 암모니아 가스의 축분 퇴비 탈취효과 등에 미치는 영향을 검토하는데 있다.

재료 및 방법

본 실험 장치는 양돈폐수 활성오니법 정화 처리시설에서 발생된 화학적 처리 오니와 톱밥 혼합물 퇴비화 시스템 및 퇴비화 암모니아 가스의 축분 퇴비 생물학적 탈취처리시스템은 연직 방향으로 상하 회전하여 반전이 가능한 강제 통기형 교반식 발효조(내경 60 cm; 퇴비재료의 유효 퇴적 높이 50cm; 퇴비재료의 유효 체적 141l)가 3개조(Fig. 1) 및 이들 발효조에서 배출되는 암모니아 가스는 아크릴형 탈취조(내경 19 cm; 퇴적 높이 50 cm; 유효용적 14l)의 돈분 퇴비 바이오플터에 통과하도록 구성되었다. 탈취조 3개소의 바닥 면 공기실에 연결시켜서 탈취조 통과 전후의 암모니아 가스 농도 및 발효조 내부의 퇴비화 온도, 외기 온도 등을 3주간 주발효 기간에 연속 측정하였다.

실험장치의 부속 기기는 통기용 공기압축기 (United-ISO9001), 가스검지기(GASTEC-801)와 검지관, 퇴비화 온도 계측장치, 데이터 수집 및 컴퓨터 저장 장치 등으로 구성되었다.

원통형 발효조는 외부에 5 cm 두께의 단열 재를 피복하였다. 상부는 발효조 내의 배기가스 열손실과 습공기 응축 냉각을 억제하기 위하여 뚜껑(15 cm 높이)을 달고, 아래에 45 cm 높이의 퇴비재료 뒤집기 공간을 유지하였다. 퇴비재료는 50 cm 높이의 퇴적 공간에 채워

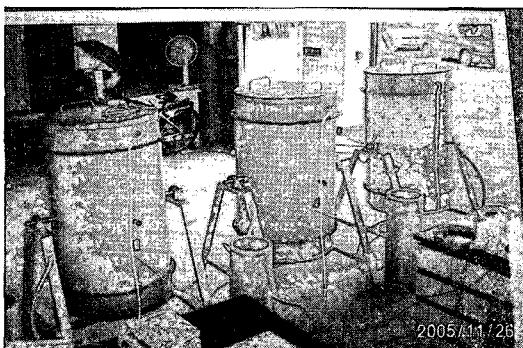


Fig. 1. Photo of the three laboratory scale composter and biofilter.

두고, 발효조 바닥 면에서 15 cm 높이에 유공강판의 공기실을 두었다.

퇴비화 재료는 경기도 안성시 미양면 소재 G농장 양돈시설의 양돈폐수정화장치에서 활성오니법에서 얻어진 석회처리 잉여오니를 가압 탈수한 오니(고형물 농도 30%) 및 순천시 소재 M 제재소 톱밥을 부자재로 사용하였다.

본 실험 방법은 2005년 11월 2일부터 3주간 주발효 처리 기간에 회분식 통기교반식 발효조 및 돈분 퇴비 탈취조 3개에 동일한 화학적 처리 탈수오니와 톱밥 혼합물 퇴비화재료를 퇴비화 12일째 까지는 1일 1회 교반처리하고, 13일째부터는 무 교반(R1), 1일 1회 교반(R2) 및 1일 2회 교반(R3) 등의 3개 발효조로 구분하여 연속통기 교반 처리하였다.

퇴비화 재료 성분은 퇴비화 시작 및 종료 시에 발효조 및 탈취조의 재료를 부위별로 6개소의 위치에서 800gr 시료를 추출하여 2개의 비닐 팩에 담아, 실험재료 냉장고에 보관 후에 농촌진흥청 표준 토양실험분석법(농촌진흥청, 1988)에 따라서 측정하였으며, 응집제 탈수처리 오니 및 톱밥 혼합물의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

실험재료는 양돈 뇌오수 정화처리에서 활성오니법으로 발생된 잉여 오니에 석회 처리하여 탈수 처리한 오니와 톱밥을 중량비 10:3으로 하여 수분이 55-65% 범위에 들게 하였고, 발효조에 공급된 산소 공급량은 0.5-0.7 L/min.kg.dm⁻²로서 발효조 하부 공기실에 공급하였다.

Table 1. Properties of raw materials used in compost mixes

Properties	Lime treated hog wastewater excess sludge	Sawdust
MC(% wb)	79 - 80	14-15
pH(-)	8.7	4.5
T-C(% db)	41	56
T-N(% db)	0.5	0.2
C/N	82	280
Ash(% db)	29 - 30	2.9-3.3

3개 발효조 퇴비 중심부 및 외기온도는 외부에 연결된 K형 열전대로서 매시간마다 디지털 값으로 3주간 연속하여 컴퓨터에 입력되었다(CR10, Campbell).

퇴비화 발효조(R1, R2, R3) 3개소 및 여기에 나란히 연결된 탈취조(F1, F2, F3) 3개소에서 배출되는 암모니아 농도는 가스검지기와 검지관으로 1일 2회(오전10시 및 오후2시) 반복 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 화학적처리 잉여오니 퇴비화처리에서 이화학적 성분 변동

양돈폐수 활성오니법 정화처리에서 발생된 화학적처리 잉여오니에 텁밥을 혼합하여 초기재료의 수분(MC), 전탄소(T-C), 전질소(T-N), 탄질비(C/N), 산도(pH) 및 회분(Ash) 등이 동일한 재료에 통기량을 같은 수준에 두고, 교반횟수 만을 달리하여 퇴비화 하는 동안에, 통기 교반식 퇴비화 성능 및 암모니아가스 발생과 탈취처리 등을 비교하였다.

Table 1에서 화학적처리 오니성분은 고수분, 강 알카리성 및 높은 탄질비로서 퇴비화 재료로 활용이 부적합하여 텁밥을 혼합하여 수분, 산도, 및 탄질비 등을 개선하여 퇴비화처리 하였다. Table 2의 퇴비화 초기재료에서 수분 66%(wb), 산도가 8.5, 전탄소 53%(db), 탄질비 26 등의 조건 및 적정 통기량에서 퇴비화 온도는 중온영역(Fig. 2) 나타냈고, 퇴비화 암모니아는 최대허용수준(50 ppm) 이하인 최고 7 ppm 상태를 유지하고 있었다.

Table 3에서 1차 주발효 퇴비화처리 종료 시에 퇴비성분은 Table 1의 초기재료 성분과 거의 같은 결과로서 이러한 현상은 호기성 미생물이 석회의 주 성분인 탄소의 과다로서 이분해성 유기물 분해를 충분히 발휘하지 못한 것으로 판단되었으며, 석회처리 등의 응집제처리 오니 자체만으로는 퇴비화 처리가

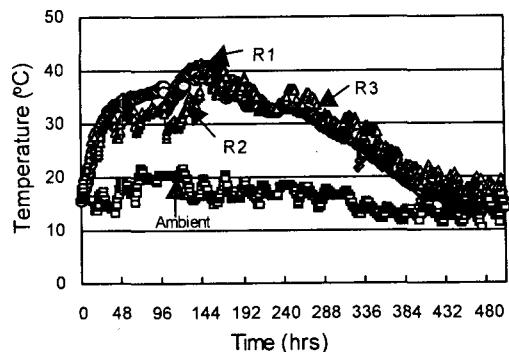


Fig. 2. Graphical records of daily compost and ambient temperatures during composting.

Table 2. Initial properties of compost mixtures

Properties	MC (% wb)	pH (-)	T-N (% db)	T-C (% db)	C/N	Ash (% db)
R1	67	8.5	2.0	52.5	26.3	9.5
R2	62	8.5	2.0	52.0	26.0	10.5
R3	57	8.5	2.0	53.0	26.5	8.6
Average	62	8.5	2.0	52.5	26.3	9.5

Table 3. Final properties of compost mixtures

Properties	MC (% wb)	pH (-)	T-N (% db)	T-C (% db)	C/N	Ash (% db)
R1	66	7.6	2.0	52	26	10.5
R2	66	7.6	1.9	51	27	11.9
R3	65	7.5	1.9	50	26	14.4
Average	66	7.6	1.9	51	27	12.3

불가능하다고 판단되었다.

한편, 고 수분 잉여오니를 안정화하여 토양개량자재 사용을 위해 첨가한 유기고분자응집제 처리오니는 여기에 들어있는 다양한 질소가 토양에서 암모니아를 거쳐서 초산으로 변하여 강산성을 띠게 되며, 이와는 반대로 석회 처리 오니는 강 알카리성을 나타내므로 토양검사가 필요하다(Matsuzaki, 1994)고 발표하였다.

2. 화학적처리 잉여오니 퇴비화 온도 및 암모니아 발생량

퇴비온도는 유기물 분해온도 적온영역이 40-

50°C이고, 병원균사멸 적온영역이 55-60°C로 3일 이상 유지가 안정화 조건이나, Fig. 2에 나타난 퇴비화 온도는 25-45°C의 중온영역 범위이다. 이러한 이유는 퇴비화에 높은 전 탄소 53 및 고 탄질비 26 이상(이상조건) 등의 원인으로 호기성 미생물이 이분해성 유기물을 분해활동을 충분히 하지 못하고 있음으로서 퇴비화 온도가 살균 온도인 고온영역 55-60°C 이내에 도달하지 못하여 2차 살균처리가 필요하였다.

퇴비화 전 기간에 발생된 암모니아 농도는 퇴비화 발효 시작 후 3일째에서 최대 7 ppm이 하를 나타내 보였으며, 그 이후 12일째까지는 모두 0.5 ppm 이하를 나타내고 있었다(최대 허용농도 50 ppm 이하를 전 기간 유지하여 암모니아 휘산 도표는 생략하였음). 13일 이후부터 21일째 까지는 최저한계 농도 5 ppm 이상(Esmay and Dixon: 1986)은 발생되지 않고 있었다.

홍 (2005)은 밀폐형 퇴비화 암모니아 휘산에 관한 연구에서 퇴비재료 초기 탄질비가 17.8이며 산도가 8.9인 알카리성에서 고온영역 60-70°C를 유지하였고, 암모니아 농도는 최고 2000 ppm 정도를 나타내고 있었다라고 보고하였다. 퇴비화 암모니아는 산도7.5, 탄질비 22-26 범위에서, 최대농도가 400-700 ppm 이였고, 탄질비가 17-21에서는 900-1600 ppm 을 나타냈다 (홍;1998). 그러나 본 연구에서 퇴비화 재료의 초기 산도 8.5 및 탄질비는 26으로서 거의 발생되지 않았다. 이러한 이유는 호기성미생물 유기물분해 작용에 최적 조건인 산도 7 및 탄질비 20을 유지하지 못하였기 때문이라고 판단되었다. 따라서 중온영역 퇴비화처리 과정에서는 축분 퇴비 바이오플터에 의한 생물학적인 악취오염 물질탈취처리 방법은 적용이 불필요하다고 판단되었다.

결 론

본 연구 목적은 양돈 슬러리를 고액분리기로 분리한 분리액을 활성오니법으로 정화처리 할 때에 발생되는 화학적처리 잉여오니를

퇴비화 주원료로 사용하고, 여기에 부자재인 톱밥을 섞어서 통기 교반식 퇴비화 처리 및 암모니아의 생물학적 퇴비 탈취처리 특성을 실험실 규모의 원통형 회분식 발효조와 탈취조를 설계, 제작하여 연속통기 교반식 퇴비화시스템에서 퇴비 교반 빈도가 퇴비 안정화, 암모니아 발생 및 탈취처리 효율에 미치는 영향 등을 구명하는데 있었다.

화학적처리 잉여오니를 부자재인 톱밥과 섞어서 무교반형(R1), 1일 1회 교반형(R2) 및 1일 2회 교반형(R3) 등의 3개 발효조에 동시에 투입하고, 이들 각각의 발효조에 나란히 연결된 3개의 탈취조(F1, F2 및 F3)에 같은 돈분 퇴비필터 재료를 투입하였다.

발효조와 탈취조에 사용된 재료의 수분, 산도, 탄질비 및 통기량 등의 이화학적인 성분과 수준은 동일하게 처리하였다.

연속통기식 교반형 퇴비화 처리는 퇴비화 처음부터 12일간은 1일 1회 교반하고, 13일째부터 21일째까지는 발효조별로 각각 무교반, 1일 2회 및 1일 2회 교반 처리하여, 퇴비화 온도, 암모니아 농도, 주요성분 변동 및 탈취효율 등을 관측하였으며 여기서 얻어진 주요결과는 아래와 같다.

- 화학적처리 잉여오니의 퇴비화처리는 고 수분, 고 탄질비 및 일가리성 산도 조건으로서 퇴비화 호기성미생물 생육에 최적조건이 아니므로 퇴비화 할 때에 퇴비온도가 고온 퇴비화 영역을 유지 할 수 없었으며, 퇴비화 암모니아 발생도 극히 미미하였다. 중온영역 퇴비화 온도에서는 암모니아 농도가 허용범위(50 ppm) 이내를 유지하여 탈취처리는 불필요하였다.
- 퇴비화 교반빈도가 화학적처리 잉여오니 퇴비화에 큰 영향을 미치는 것은 없었다. 다만, 화학적처리 잉여오니와 톱밥 혼합물 퇴비화는 산도 8.5 이상, 고 탄소 53 및 탄질비 26 이상 등의 원인으로 중온영역 퇴비화처리가 가능하였으나, 살균소독처리가 필요하였다. 따라서 화학적처리 잉여오니는 토양개량재로 활용 하거나, 고액분리

고형 축분을 혼합한 퇴비화처리로서 고온 영역(60°C 내외)을 유지 하는 것이 필요한 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 대한민국 환경부, 환경기술진흥원의 차세대 핵심환경 기술개발사업 연구비 지원으로 수행되었으며, 저자는 본 연구사업에 적극 지원한 신강하이텍 대표 조성주 사장님을 비롯한 김태곤 이사님, 최일병 부장님 및 본 대학 연구원 박경찬 군, 김진욱 군 및 차유광 군 그리고 교직원의 친절한 배려에 충심으로 감사드립니다.

인용 문헌

- Ekinci, K., Keener, M. and Elwell, D. L. 1999. Composting short paper fiber with broiler litter and additives-effects of initial pH and C/N ratio on ammonia emission. *Compost Science and Utilization* 8(2):160-172.
- Elwell, D. L., Hong, J. H. and Keener, H. M. 2002. Composting hog manure/sawdust mixtures using intermittent and continuous aeration: ammonia emissions. *Compost Science and Utilization* 10(2):142-149.
- Esmay, M. L. and Dixon, J. E. 1986. Waste Management and the enclosed environment. In : Environmental control for agricultural buildings. The AVI Publishing Co. Inc. pp. 164-179.
- Hong, Jihyung and Park, Keumjoo 2005a. Biofiltration of ammonia gas from continuous aerated composting. In: Zeynel Cebeci, Alexander Sideridis, Sait M. Say and Nazan Darcan(Eds.) Proceedings of the International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment(ITAFE '05), October 12-14, 2005, Cukurova University, Adana-Turkey. pp.541-549.
- Hong, J. H. and Park, K. J. 2005b. Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting. *Bioresource Technology* 96(6):741-745.
- Hong, J. H., Park, K. J. and Cho, J. S. 2002. Biofiltration of ammonia emissions from dairy manure composting. *Waste Recycling and Management Research* 7(1):63-73.
- Hong, J. H., Park, K. J. and Sohn, B. K. 1997. Effect of composting heat from intermittent aerated static pile on the elevation of underground temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, ASAE 13(5):679-683.
- Hong, J. H., Matsuda, J. and Ikeuchi, Y. High rapid composting of dairy cattle manure with crop and forest residues. *Transactions of the ASAE* 26(2): 533-545.
- Matsuzaki, T. 1994. Soil, compost and organic matter. Seibun publishers, Tokyo, pp. 116-120. (In Japanese).
- Pfost, D. L., Fulhage, C. D. and Hoeme, J. A. 1998. Odors from livestock operations: causes and possible cures. Extension Publication No. G1884.
- 농진진흥청. 1988. 토양화학분석 표준방법. 수원, 한국,
- 홍지형. 2005. 퇴비화 암모니아 휘산의 축분퇴비 생물학적 탈취처리. *한국도시환경학회지* 5(1):13-21.
- 홍지형. 2003. 가축분뇨 퇴비 품질기준 및 퇴비화 악취 저감기법. *한국축산시설환경학회지* 9(1):57-60.
- 홍지형. 2002. 퇴비 바이오플터에 의한 암모니아 휘산의 저감화 기술. *한국도시환경학회지* 2(2):1-3.
- 홍지형. 1998. 파이럿 규모 빈 퇴비화 시스템에서 연속 및 간헐통기 돈분 퇴비의 안정도 평가. *한국농공학회지* 40(5):100-108.