

강제통기식 돈분 퇴비화 과정의 암모니아 휘산 Ammonia Emissions during Composting of Hog Manure Using the Positive Aeration

홍 지형*

정회원

J. H. Hong

박 금주*

정회원

K. J. Park

1. 서론

지난 몇 십년간 생물계 폐기물 호기성 처리의 경제적이고 실용적인 공법으로 가축분뇨처리에 적용되어온 유기성 폐자원의 호기성 분해공정은 축산환경 보전, 지력증강 자원의 고갈 및 지구온난화문제 등에 의해서 더욱 주목받아 오고 있다. 특히, 기존의 호기성 고형폐기물 처리시설에서 저투입, 고효율의 처리시설을 개발하여 보다 많은 숙성퇴비를 얻을 수 있는 통기퇴적식 퇴비화 시설은 강제통풍 통기방식으로 호기성 미생물의 분해시간을 단축하고 암모니아가스 휘산을 저감하는 등의 탁월한 처리효율을 나타내었다(Brinton et al., 1995).

퇴비화처리는 분해가 완전히 끝나, 안정된 상태에서 토양의 이화학적 성질을 개선할 수 있으며 퇴비의 안정성은 부숙도와 같은 의미로서 퇴비화 온도와 탄산가스 호흡률 등으로 나타낼수 있으며(Epstein, 1997), 일반적으로 퇴비화 온도가 상온에 되돌아올 때에 안정한 상태에 도달된다.

숙성퇴비 품질판정 기준은 부숙도 이외에 용해염도, 산도, 입경, 수분, 탄질비 및 퇴비 발효온도 등의 항목에서 일정한 기준범위를 유지해야 된다. 그러나, 고형퇴비화 시설현장에서 손쉽게 퇴비 품질을 등급화할 수 있는 실용적인 판단 기준인 퇴비화 온도, 암모니아 가스 농도 등이 적용된 사례는 거의 없는 실정이다. 통기량은 암모니아 휘산에 큰 영향을 주며 적정 통기량은 $73\text{L}/\text{m}^3\cdot\text{min}$.이었다(Hong et al., 1997). 한편, 퇴비재료의 초기 탄질비가 25이하이고 통기량이 $1.0\text{L}/\text{min}\cdot\text{kg}\cdot\text{dm}$ 이상이 되면 암모니아가스 발생이 크게 증가하는 것으로 보고되었다(Matsuda et al., 1998).

본 연구는 파이로트 규모 통기퇴적식 빈형 퇴비화과정에서 연속 및 간헐의 통기방법과 퇴비재료의 탄질비 등 이화학적 성분이 퇴비화 온도 및 암모니아가스 휘산 등에 미치는 영향을 분석하였다.

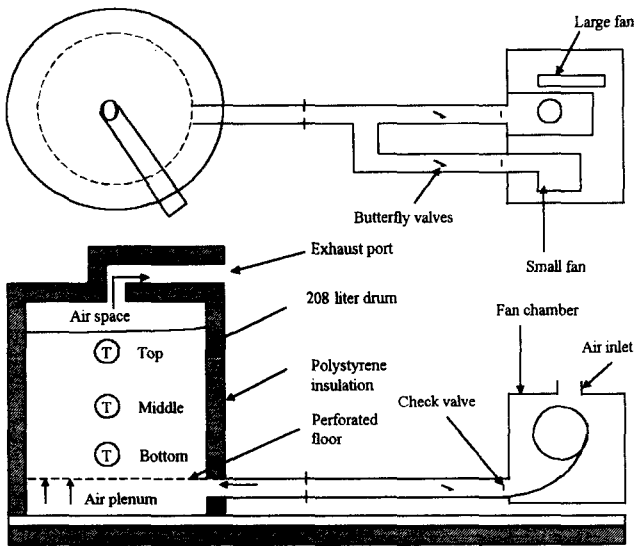
2. 재료 및 방법

본 연구에서 사용된 파이로트 규모 반응조 퇴비화 장치 및 암모니아가스 샘플링 시스템은 각각 그림 1과 같고 퇴비화 시스템은 강제통기(연속 및 간헐)식 퇴적 퇴비화로서 회분식 원

* 순천대학교 농과대학 농업기계공학과

통형 반응조(내경:5.7cm,유효용적:208 l), 통기팬(소형:0.004HP,대형:0.04HP), 온도제어 및 계측장치, 데이터 수집 및 컴퓨터 데이터 저장장치 등으로 구성되었다. 원통형 반응조는 외부에 5cm 두께의 단열재를 두고 상부는 배기가스의 열 손실과 수증기 응축냉각을 억제하기 위한 뚜껑을 두고 내부에는 바닥 10cm의 상부에 아연도금 유공강판을 두어 소형팬으로 연속운전한 뒤에 반응온도가 60℃가 될 때부터 대형팬을 자동조작하고, 간헐통기는 대형팬을 5분가동, 55분 정지 조작(타이머 스위치)하여 공기를 공급하였다.

배기가스 추출은 반응조별로 연속 기록되게 했으며 투입공기의 노점온도 및 탄산가스와 산소농도 등은 시간단위별로 관련 분석기에 의해 측정하였다.



한편, 반응조(4기)별로 연속통기(2기)와 간헐통기(2기)로 구분하여 조별로 Type-K(5개)의 열전대를 퇴비재료 상부에서 각각 24cm, 48cm 및 73cm의 위치의 반응조 중심부에 설치하였다. 이밖에 반응조 외부실온과 팬 작동시간을 반응조별로 매시 15분 간격으로 데이터로거(Digi Kaye, DR3-3C) 및 테이프 레코더(MFE-2500) 등으로 기록하였다.

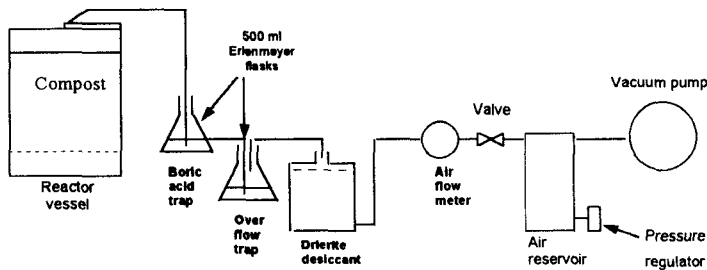


Fig. 1. Schematic diagram of a reactor vessel(upper) and the ammonia sampling system(lower).

이외에 실험기간의 전 데이터를 분석 목적으로 작성된 컴퓨터 프로그램에 입력시켜 퇴비화 기간의 열 및 공기의 유동, 암모니아태 질소 손실, 탄산가스 발생량 및 물질수지 등을 산정하였다.

퇴비화 기간의 배기가스의 암모니아 농도는 반응조별로 하루에 한번씩 측정했으며, Elwell(1994) 등이 기술한 바에 따라 암모니아 추출은 200 ml의 붕산 트랩을 사용하였다. 퇴비화 분해과정의 암모니아는 200 ml의 붕산 트랩으로 수거되었으며, 이것은 42 g/l의 붕산과 브롬크레솔클린-메틸레드 지시약의 용액이며, 트랩을 통한 유출율은 반응조 전체 공기

량(소형팬 기준)의 7%를 나타내는 1 l/min.이었다. 트랩은 약 24시간마다 교체했으며 트랩에서 암모니아량의 결정은 봉산용액을 0.7 N의 염산에 적정하면서 용액의 색깔이 녹색에서 분홍색으로 변환 될 때를 종말점으로 규정하고, 적정중에 소비된 염산 ml당 암모니아성 질소는 9.29 mg을 나타내었으며, 암모니아 농도 산정은 다음 식과 같았다.

$$\text{암모니아(ppm)} = \frac{\text{염산}(mL) \times 9.29 \text{mg}(\text{NH}_3 - \text{N})/mL}{\text{유출물(암모니아추출)}L/\text{min} \times \text{시간}(\text{min})} \times \frac{\text{물}}{14g} \times \frac{22.4L}{\text{물}} \dots \dots (1)$$

실험재료인 돈분과 톱밥의 배합은 수분과 탄질비를 전처리 과정에서 적정범위에 들도록 혼합교반 시킨후에, 반응조에 넣어 3주일간 퇴비화처리 하였다. 반응조 투입전과 퇴비화 종료후에 재료가 흩어진 상태에서 임의의 6개소 위치에서 시료를 800gr씩 추출하여 2개의 비닐 봉투에 넣어서, 연구분석실의 표준실험법에 따라 시료의 제 성분을 분석하였으며, 퇴비화 재료의 투입시 및 퇴비화 처리후의 산도, 수분, 유기물량, 전탄소, 전질소, 탄질비 건물량 및 습량 밀도 등은 표 1과 같다.

Table 1. Composition of the mixtures at the start and end of the high rate composting process

Parameter	#1		#2		#3		#4	
	Start	End	Start	End	Start	End	Start	End
pH	7.9	6.9	7.5	6.8	7.4	7.2	7.1	7.1
MC, % wb	61.9	54.3	59.0	53.9	59.6	61.2	59.8	55.4
VS, % db	87.5	88.5	90.4	87.8	90.2	85.5	88.4	86.8
T-C, % db	40.72	36.53	42.88	39.18	43.42	38.98	42.27	39.86
T-N, % db	1.86	1.97	1.77	1.92	1.63	1.95	1.92	1.82
C/N	21.9	18.5	24.2	20.4	26.6	20.0	22.0	21.9
DM(kg)	36.22	25.75	38.98	26.26	38.49	26.86	37.45	29.82
Wet density(kg/m ³)	528	376	528	380	529	462	518	446

3. 결과 및 고찰

가. 재료의 이화학 성질 분석

표 1에서 투입재료의 초기상태는 산도가 7.1에서 7.9의 범위로서 적정수준인 6.0~8.0의 범위이내에 있었으며, 수분은 59.0 ~ 61.9% 범위로서 적정범위인 55~65%내를 유지하고, 초기재료의 탄질비는 21.9에서 26.6으로서 25~30의 이상조건에 근접하였다. 한편, 초기 재료의 용적 밀도는 518~ 528kg/m³로서 적정 용적밀도 530kg/m³ 수준에 근접하는 범위에 있었다. 이러한 제 조건은 실제적으로 달성하기가 매우 곤란하나, 본 실험은 호기성 분해반응의 최적 초기조건을 만족하고 있었다.

한편, 퇴비화 처리 3주일 후의 재료의 상태는 산도가 6.8에서 7.2로서 적정 수준인 6~8의 범위이내이며, 수분은 53.9에서 61.2%로서 적정 조건인 40%이하까지는 건조처리가 필요하

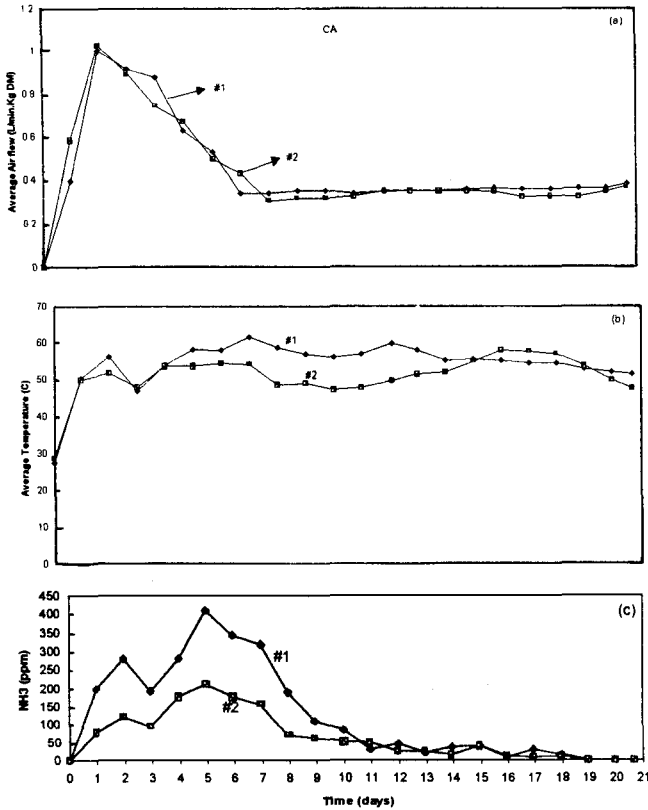


Fig. 2. Average airflow rates(a), average compost temperatures(b) and ammonia emissions(c) during the continuously aerated composting decomposition.

7일 이후부터 일정한 상태로서 0.3~0.4 L/min.kg.dm을 유지하고 있었으며, 간헐통기의 경우는 퇴비화 5일 이후 부터는 0.1 L/min.kg.dm 상태로 일정한 값을 나타내보였다.

이러한 통기량의 변화로서 유기물 분해가 활발한 퇴비화 분해 단계인 6~7일째까지는 산소공급이 대량 필요하나, 그 이후에는 일정량의 통기량이 유지되어 안정화 단계 있음을 있었다.

다. 퇴비화 온도 변화

연속 및 간헐 통기처리 반응조의 퇴비화 평균 온도는 각각 그림 2(b) 및 그림3(b)에 나타난 바와 같다. 연속통기 퇴비화 반응조 #1과 #2는 발효후 6~7일째까지는 47~61°C의 범위로서 온도 변동폭이 큰 고속 분해 과정을 이루다가 그 이후부터는 안정화 상태가 진행되고 있었다. 이러한 현상은 연속 통기가 미생물 활동에 냉각영향을 미친 것으로 판단된다.

한편, 간헐 통기식 퇴비화 반응조 #3과 #4의 퇴비화 온도변동은 2일부터 3일 사이에는 52~58°C를 유지하다가 6~7일째에 최대 70°C를 유지한 후에 적정온도 55~60°C를 지속하면서 안정화 상태가 진행되고 있었다.

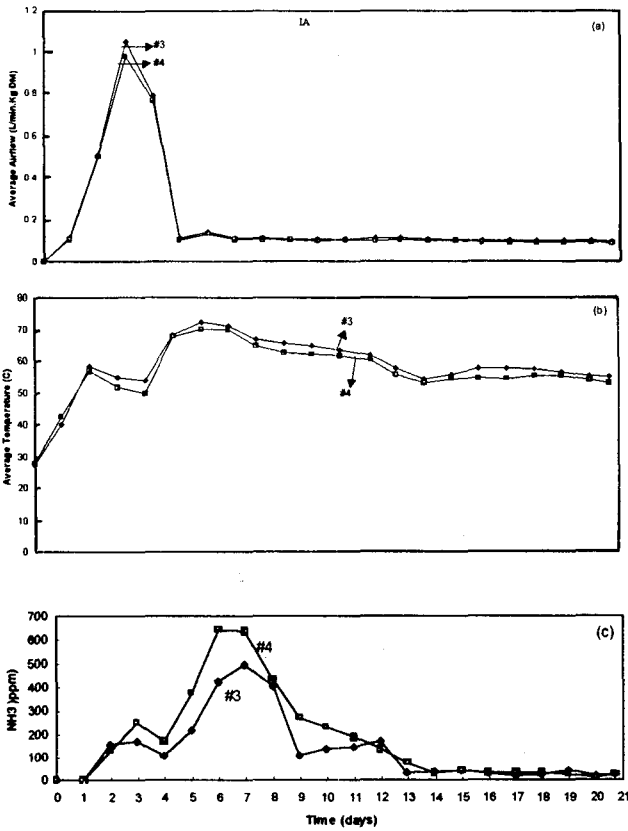
였다. 탄질비는 18.5에서 21.9로서 적정조건인 20이하 수준에 거의 도달한 상태로서 연속 통기 및 간헐 통기 상태의 완숙퇴비의 최적 조건은 비슷하여 큰 차이가 없게 나타났으나, 퇴비화 처리 3주째의 용적밀도는 연속통기가 376~380 kg/m³이고, 간헐통기가 446~462 kg/m³ 로서 통기방식의 영향을 받고 있었다.

나. 통기량의 변동

강제통기식 및 간헐통기식 퇴비화 처리에서 통기량의 변동은 각각 그림 2(a) 및 3(a)와 같다. 강제통기식의 통기량 범위(반응조: #1과 #2)는 2일째에 최대 1.00 ~ 1.02 L/min.kg.dm이고, 간헐 통기(반응조: #3와 #4)에서는 3일째에 최대 1.05 ~ 0.98 L/kg.dm을 나타내고 있었다.

한편, 강제통기의 경우는 퇴비화

퇴비화 반응조의 퇴비화 분해 온도는 마지막 3주째에 48~55°C의 범위로서 안정화 되어 있었으며, 퇴비화 과정이 완료된 징후를 나타내기 시작하였다.



라. 암모니아 휘산량

최적 수준의 초기재료 조건하에서 통기퇴적식 퇴비화 전 기간의 암모니아 휘산량의 변화는 연속통기식 퇴비화 처리의 그림2(c) 및 간헐통기식 퇴비화 처리의 그림3(c)에 나타낸 바와 같다. 강제통기식의 경우(반응조#1과 #2)에 최대 암모니아 휘산은 5일째에 각각 410 ppm과 210 ppm을 나타냈고, 간헐통기식의 경우(반응조 #3와 #4)는 6일째에 각각 최대 490 ppm과 640 ppm을 나타내 연속통기에서 휘산량이 더 적게 나타났다.

한편, 암모니아가스 최대 허용농도 50 ppm 이내에 도달되는 시기는 연속통기식은 11일째로서 각각 32 ppm과 50 ppm을 나타내고, 간헐통기식 퇴비화에서는 각각 14일째에 40 ppm 및 34 ppm를 나타내고, 연속 통기는 20일째 부터는 암모니아가스가 발생되지 않았으

Fig. 3. Average airflow rates(a), average compost temperatures(b) and ammonia emissions(c) during the intermittently aerated composting decomposition.

나, 간헐통기는 11~17 ppm 정도 수준으로 최대 안전 농도 25 ppm(ASAE, 1997)이하를 유지하고 있었다.

위와같은 암모니아 휘산량의 변동에서 이분해성 유기물의 호기성 분해는 퇴비화 5~6일째에 최고 상태에서 20일째에 허용농도범위 수준에 도달된다는 사실을 알수 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 축산폐기물의 통기퇴적식 퇴비화처리의 성능을 향상하고, 암모니아 가스 발생을 저감하기 위하여 파이릿 규모의 원통형 회분식 반응조를 설계, 제작하여 적정수준의 초기재료 수준에서 연속 및 간헐통기 방식이 퇴비화 분해 및 안정화 단계 3주간의 퇴비화 온도, 암모니아가스 농도 변동 및 퇴비화 전, 후의 이화학적 성분을 비교하였다.

본 연구는 연속 및 간헐통기 퇴비화 방식에 따른 퇴비의 화학적 성분, 통기량, 퇴비화 온도 등의 변화와 암모니아가스 휘산량을 비교 분석한 것으로서 주요 결과는 다음과 같다.

1. 적정수준의 퇴비화 초기재료 조건에서 최대 암모니아가스 휘산량은 퇴비화 5~6일째에 연속통기 방식에서 210~ 410 ppm, 간헐통기 방식에서 490~ 640 ppm으로 간헐통기에서보다 연속통기에서 암모니아가스 휘산이 적게 나타났다.
2. 암모니아가스 최대안전 농도(25 ppm 이하)는 연속통기는 18일째에 도달되었으며, 간헐통기는 퇴비화 20일째에 나타나 간헐통기에서보다 연속통기에서 빨리 안정화 되는 것으로 나타났다.
3. 연속통기와 간헐통기에서 모두 초기재료의 탄질비가 암모니아가스 휘산에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.
4. 퇴비화 분해단계의 최대통기량은, 퇴비화 2-3일째로서 1.0~1.05 L/kg.dm이고, 퇴비화 5-7일째이후부터는 퇴비화 안정화 단계로서 0.1~0.4 L/kg.dm정도로서 일정하게 되었다.

감사의글

이 연구는 1997년 한국과학재단의 중견과학기술자 교류사업에 의하여 연구되었기에 감사를 포함합니다.

5. 참고문헌

1. ASAE Standards EP470 DEC96. 1997. Manure storage safety. In: ASAE Standards, 44th Ed., St. Joseph, MI. U.S.A.
2. Brinton, W. F., E. Evans, M. L. Droffner and R. B. Brinton. 1995. Standardized test for evaluation of compost self-composting. BioCycle, Nov. pp.64-69.
3. Elwell, D. L., H. M. Keener, H. A. J. Hoitink, R. C. Hansen and J. Hoff. 1994. Pilot and full scale evaluations of leaves as an amendment in sewage sludge composting. Compost Science & Utilization 2(2):55-74.
4. Epstein, E. 1997. Stability, maturity and phytotoxicity. In: The Science of Composting, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, PA., U.S.A. pp.107-136.
5. Hong, J. H., K.J. Park and B. K. Sohn. 1997. Influence of aeration rate on ammonia emission in high rate composting of dairy manure and rice hulls mixtures. 1997 ASAE Annual Int'l Meeting, Minneapolis, ASAE Paper No.974114.
6. Matsuda, J. and T. Matsuda. 1998. Ammonia emissions during composting of swine manure, poultry manure and dairy cow manure. Proc. of Int'l Workshop on Environmentally Friendly Management of Farm Animal Waste. pp.95-102. Sapporo, Japan.
7. Marugg, C. 1992. Handbook of analysis procedures for compost laboratory data. Dept. of Food, Agr. & Biol. Enging., OARDC/OSU., Wooster, OH., U.S.A.