

상업용 퇴비화를 위한 간헐통기식 파이로트 규모 반응조의 성능

홍 지 형

순천대학교 농과대학 농업기계공학과

Performance of an Intermittent Aerated Pilot-scale Reactor Vessel for Commercial Composting

Ji-Hyung Hong

Department of Agricultural Machinery Engineering,
College of Agriculture, Suncheon National University

ABSTRACT

Mixtures of hog manure slurry and sawdust were composted by an intermittent aeration method to verify the performance evaluation of pilot-scale reactor vessels during composting high rate (decomposition) process. Instrumentation was designed to measure temperatures in compost, oxygen and carbon dioxide concentration, air flow rates, and ammonia gas emitted. It was found that ammonia concentration during composting high rate decreased more quickly to the allowable range of 34-40 ppm after 14 days at near the optimal levels (II) than in the case of lower levels (I). The influence of the optimal levels (II) such as moisture content (55-65%), C/N ratio (20-40), pH (7-8) and temperature in compost (<60°C) on the reduction of ammonia gas was considerable for commercial composting.

Key words : Composting, Solid compost, Ammonia gas, Composting high rate, Intermittent aeration, Hog manure, Biofertilizer, Commercial compost

초 록

돈분 슬러리와 톱밥 혼합물을 퇴비화 급속(분해)과정의 파이로트 규모 반응조 성능 평가를 입증하기 위해 간헐통기법으로 퇴비화 처리했다. 계측은 퇴비온도, 산소와 탄산가스농도, 통기량 및 암모니아가스 배출 등의

측정으로 구성됐다. 퇴비화 급속과정의 암모니아 농도는 14일째에 수준이하(I)보다 최적수준(II)부근에서 신속하게 허용범위 34-40ppm 이내로 감소되어 짐을 알 수 있었다. 암모니아가스 저감에 있어서 수분(55-65%), 탄질비(20-40%), 수소이온농도(7-8%) 및 퇴비온도($<60^{\circ}\text{C}$) 등의 최적수준 영향은 상업용 퇴비화에 무시할 수 없었다.

핵심용어 : 퇴비화, 고체 퇴비, 암모니아 가스, 급속 퇴비화, 간헐 통기, 돈분, 바이오 필터, 상업용 퇴비

1. 서 론

가축 사양 규모 확대에 의한 가축사육두수의 증가로 다량의 축산분뇨가 발생하여 축산 환경보전 대책이 시급한 실정이다. 축산 환경오염 문제의 발생원이 되고 있는 가축분뇨의 자원화는 환경보전과 자연 자원의 유효이용이라는 관점에서 중요하다. 그러므로, 가축분뇨는 물론 농림 수산물 가공처리장에서 배출되는 잔재, 음식 쓰레기등의 상업용 퇴비화 기술의 체계화를 위한 합리적인 기술개발과 유기질 비료 산업체의 육성대책 수립이 필요하다.

퇴비화 처리는 유기성 고형 및 액상폐기물의 비료화로서 토양개량과 지력증진에 효과가 크며 작물 생육에도 큰 영향을 주고 있다(Hong et al., 1996). 퇴비화 공정은 전 처리과정, 분해과정, 숙성과정, 선별정제과정, 후숙저장과정 등으로 구분되는데, 전처리과정은 퇴비화 적정 초기조건을 유지하기 위한 수분, 탄질비, 수소이온 농도 등이 각각 50-65%, 20-40, 7-8의 범위가 좋으며 분해과정은 퇴비온도 $45-65^{\circ}\text{C}$ 유지를 위한 통기방식 및 통기량의 조정 작업이 중요하다. 고형 및 액상퇴비화의 산소공급 기능은 미생물의 유기물 분해 활동 촉진, 살균처리 온도($55-60^{\circ}\text{C}$)의 유지, 수분, 탄산가스 및 발생열의 제거 뿐 아니라 혐기성 조건을 방지하는데 있다 (Composting Council 1994; Hansen et al., 1995; Haug, 1993; Hong, 1994; Matsuda, 1987) 연속 통기 퇴적식 퇴비화 분해과정에서 초기재료의 조건인 탄질비, 수소이온농도가 적

정수준이내에 들었을때에 퇴비화 성능이 그렇지 않은 수준이하일 때보다 훨씬 양호한 상태를 보였다 (Hong, 1998).

따라서 본 연구의 목적은 강제 간헐 통기식 퇴적 퇴비화 분해과정의 퇴비화 성능에 미치는 요인을 검토하여 퇴비화 작업능을 향상에 저해 요소의 영향을 저감시키는데 있다.

2. 재료 및 방법

퇴비화 재료는 오하이오대학 농업기술연구소의 양돈시설에서 육돈과 종돈의 돈분 및 깔짚재료인 톱밥을 실험재료로 활용했다. 육돈분(75kg)과 톱밥(22kg)을 혼합한 재료(I)과 종돈분(45kg), 육돈분(16kg), 톱밥(27kg), 및 물(18kg)을 혼합한 재료(II)에서 양 재료의 수분은 모두 적정 수준의 56-60% 범위에 있었고, 탄질비와 수소이온 농도는 각각 재료(I)이 17-19 그리고 6이고 재료(II)가 22-27 그리고 7.1-7.4의 수준에 있어 재료(I)은 수준이하의 조건이고 재료(II)는 적정 수준 범위에 있었다.

한편, 공시 재료인 육돈분, 종돈분 및 톱밥 재료 등의 탄질비는 각각 12, 12, 25이고 수분은 72-75%, 77%, 5.4%등이고 수소이온 농도는 5.5-6.5, 7.3, 3.0등 이었다(표에는 나타나지 않음). 재료(I)과(II)의 분해과정 전과 후의 이 화학적인 성분과 성상은 표 1과 표 2에 나타난 바와 같다.

본 연구에 사용된 파이로트 규모의 반응조 및 통기구조와 암모니아 가스 취출 시스템의 개략도는

Table 1. Composition of raw material and fresh compost during the intermittent aerated composting high rate process - Test(I)

Parameter	Vessel # 1		Vessel # 2	
	Raw Material	Fresh Compost	Raw Material	Fresh Compost
pH(-)	6.0	7.4	6.1	7.6
MC(% , wb)	56.7	59.0	55.8	56.3
VS(% , db)	90.0	89.5	42.8	88.6
T - C(% , db)	45.4	42.6	2.54	43.3
T - N(% , db)	2.40	2.32	16.9	2.58
C/N(-)	18.9	18.4		16.8
Depth(m)	0.69	0.59	0.69	0.58
Volume(m ³)	0.18	0.15	0.18	0.15
Wet weight(kg)	95.0	78.7	92.3	75.5
Dry weight(kg)	41.1	32.3	40.8	33.0
Wet density(kg/m ³)	540	524	524	510
Dry density(kg/m ³)	229	215	227	220
Particle size distribution(% , db)				
> 0.57cm	5.9	3.7	5.0	4.1
0.4 - 0.57	11.4	8.3	8.3	7.7
0.2 - 0.4	28.6	22.3	27.6	21.4
< 0.2cm	54.1	65.7	59.1	66.8

Each composition value is the average of two samples.

Table 2. Composition of raw material and fresh compost during the intermittent aerated composting high rate process - Test(II)

Parameter	Barrel # 3		Barrel # 4	
	Raw Material	Fresh Compost	Raw Material	Fresh Compost
pH(-)	7.4	7.2	7.1	7.1
MC(% , wb)	59.6	61.2	59.8	55.4
VS(% , db)	9.82	14.50	11.56	13.18
T - C(% , db)	43.42	38.98	42.27	39.86
T - N(% , db)	1.63	1.95	1.92	1.82
C/N(-)	26.6	20.0	22.0	21.9
Depth(m)	0.71	0.60	0.69	0.58
Volume(m ³)	0.18	0.15	0.18	0.15
Wet weight(kg)	95.26	69.22	93.17	66.86
Dry weight(kg)	38.49	26.86	37.45	29.82
Wet density(kg/m ³)	529	462	518	446
Dry density(kg/m ³)	214	179	208	199
Particle size distribution(% , db)				
> 0.57cm	8.5	6.8	7.5	8.0
0.4 - 0.57	9.2	8.0	9.9	10.7
0.2 - 0.4	21.1	16.2	22.6	19.6
< 0.2cm	61.2	69.0	60.0	61.7

Each composition value is the average of two samples.

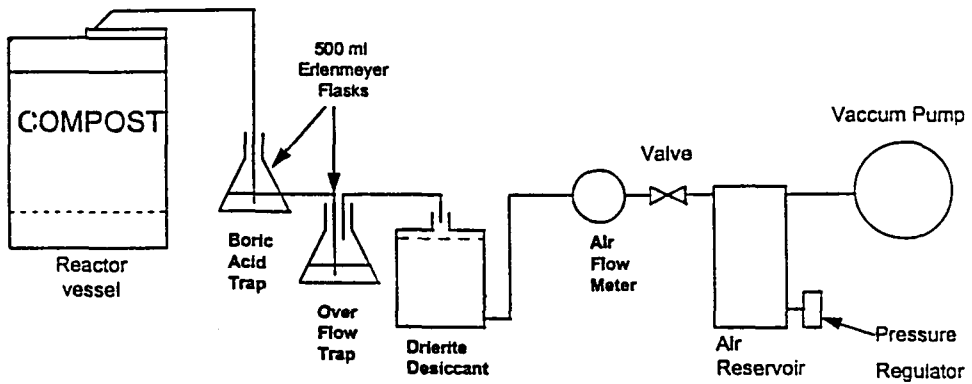
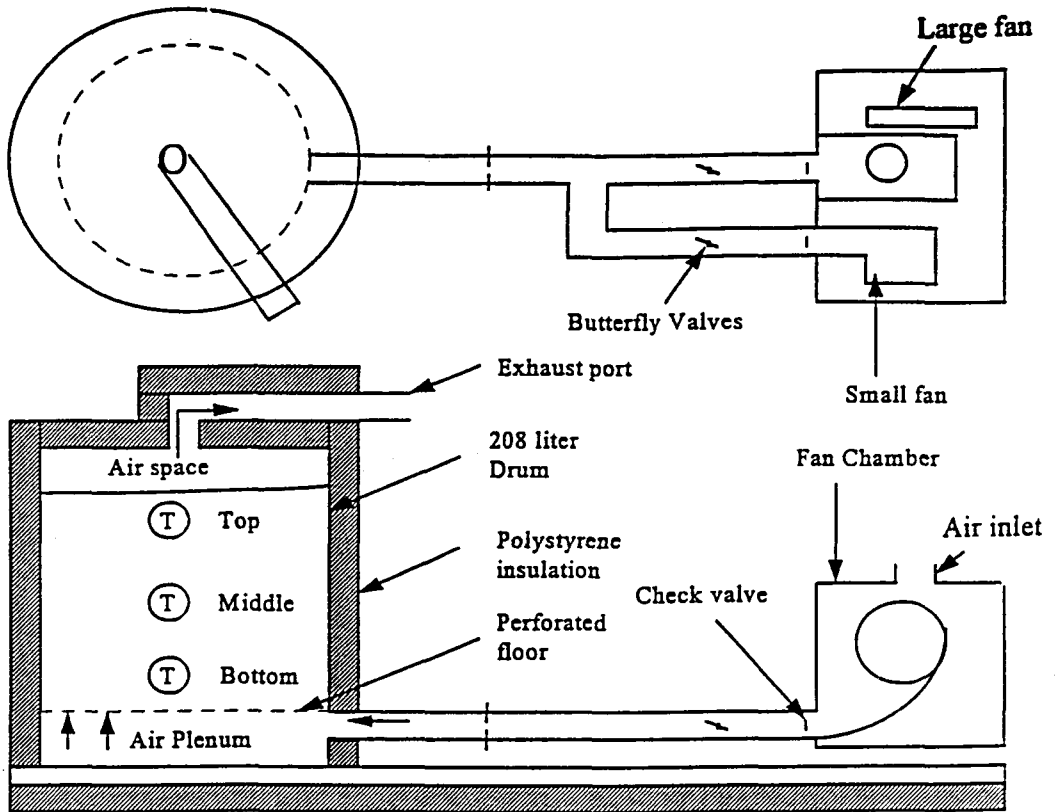


Fig. 1. Schematic illustration of a reactor vessel and the ammonia sampling system.

그림 1의 위와 아래에 나타난 바와 같으며, 본 실험 장치는 미국 오하이오 대학 농업 연구 개발센터내 퇴비화 연구 실험동의 반응조를 활용했다.

재료(I)은 1997. 4. 4부터 4. 25까지 그리고 재료(II)는 1997. 6. 27부터 7. 18까지 각각 3주간씩 매시간 5분 간격으로 간헐 통기 퇴비화 분해과정의 퇴비 온도변화, 산소 흡수 및 탄산가스 배출농도, 통기량, 암모니아 가스 농도등의 변동을 연속 측정 기록 하였다.

본 연구에 활용된 퇴비화 처리 시스템은 회분식 원통형 반응조 (내경 : 57cm, 퇴적높이 : 73cm, 유효체적 : 208 liter)와 통기팬, 가스 추출 및 분석장치, 온도 제어 및 계측장치, 데이터 수집장치 및 컴퓨터와 데이터 저장장치등으로 구성 되었다. 원통형 반응조는 외부 표면에 5cm 두께의 단열재를 부착하고 상부에는 배기가스의 열손실과 수증기의 응축냉각을 억제하기 위해 뚜껑을 두었으며, 반응조 내부의 바닥위로 10cm 위치에 아연도금 처리한 유공 강판을 두어 균일하게 공기가 공급 되도록 하였다. 한편, 반응조에 통기는 2개의 소형 (1/250 HP) 및 대형 (1/25 HP)팬을 통하여 (그림 1의 상부) 공기를 내경 4.76cm의 PVC 파이프 내부에 유동시켰다. 간헐 통기 반응조의 소형팬은 그대로 두고 매시간 5분 간격으로 대형팬 (통기량 : 37.5 L/min)을 가동하여 타이머 스위치 조작에 의해 공기를 공급 하였다.

배기가스 추출은 반응조별로 연속 기록되게 했으며 투입 공기의 노점 온도 (EG & G Model 911 Dew All Digital Humidity Analyzer) 및 탄산가스와 산소농도 (Beckman Model 864 InfraredAnalyzer 와 MSA Oxyzen Analyzer 4000)등은 매시간 기록 하였다. 한편, 각 반응조별로 다섯 개의 Type-K열전대가 있었으며 제 1점은 퇴비재료 상부의 배기층에 위치하고, 제 2, 3, 4점은 퇴비재료 상부에서 각각 24cm, 48cm 및 73cm 위치로 반응조 중심부에 고정되고 나머지 제 5점은

퇴비재료 바닥 공기유입부에 고정되었다.

이 밖에 반응조 외부의 실내온도와 팬 작동시간을 반응조별로 매시간 15분 간격으로 데이터 로거 (Digi Kaye, DR3-3C) 및 테이프 레코더 (MFE, 2500)등으로 기록 하였다.

퇴비화 분해과정의 배기가스내 암모니아 농도는 반응조별로 하루에 한번씩 측정 하였으며 Elwell (1994)등이 기술한 바에 따라 암모니아 추출은 200mL의 붕산트랩을 사용 하였다. 퇴비화 분해 과정의 암모니아는 200mL의 산 트랩으로 수거 되었으며 이것은 42gr/L의 붕산과 브롬 크레솔 그린-메틸 레드 지시약의 용액 (Keeny and Nelson, 1982)으로서 트랩을 통한 유출율은 반응조 전체 공기량 (소형팬 기준)의 7%를 나타내는 1L/min 이었다. 트랩은 대략 24시간 마다 교체 했으며 트랩에서 암모니아량의 결정은 붕산용액을 0.7N의 염산에 滴定하면서 용액의 색깔이 녹색에서 분홍색으로 변환 될 때를 적정의 종말점으로 규정 하였으며 적정중에 소비된 염산 mL당 암모니아태 질소는 9.29 mg을 나타낸다. 따라서, 암모니아 농도 산정은 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \text{암모니아 (ppm)} = & \frac{\text{염산 (mL)} \times 9.29\text{mg (NH}_3\text{-N)/mL}}{\text{유출율 (암모니아추출) L/min} \times \text{시간 (min)}} \\ & \times \frac{\text{물}}{14\text{g} \cdot \text{N}} \times \frac{22.4\text{L}}{\text{물}} \end{aligned}$$

최종적으로 실험기간의 모든 데이터를 이러한 목적으로 작성된 컴퓨터 프로그램 (Marugg, 1992)에 입력시켜 산출하였으며 또한, 이 프로그램은 퇴비화 과정의 열 및 공기의 유동, 암모니아 태질소손실, 물질수지등을 산정 할수 있었다.

실험 퇴비 재료인 돈분과 톱밥은 콘크리트 바닥에 배합 기준량 만큼 쏟아 놓고 인력의 삼으로 혼합 교반 처리하여 반응조에 투입 하였다. 초기 재료 및 분해과정이 지난후의 재료 추출은 재료의 6개소 위

치에서 임의로 800gr씩 두 개의 비닐 봉투에 수거되었다. 첫 번째 봉투 시료는 탄질비 유기물량, 수소이온농도등의 화학성분 분석에 이용하고 분석법은 오하이오 농업 연구개발센터 연구 분석실의 표준 실험법으로 하고 두 번째 봉투 시료는 재료의 수분 측정 및 입경 분포를 산정하는데 사용되었다. 수분은 2일간 100℃로 시료를 가열 처리 한후와 처리전의 재료 무게를 산정하여 측정하고 입경 분석은 미국 농공학회 표준법 (ASAE, 1997)에 의해 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

생돈분은 탄질비가 12, 수분이 72-77%, 수소이온농도가 6.5이며 톱밥은 각각 215, 5.4, 3.9 등이며 표에는 표시되지 않았다. 돈분과 부자재(톱밥)의 혼합 재료(I)과(II)의 분해과정 전과 후의 이 화학적 성상을 표 1과 표 2에 표시된 바와 같다. 재료(I)과(II)의 초기 재료 수분은 56-60%로서 최적 범위에 있고, 탄질비와 수소이온농도는 각각 17-19, 6.0-6.1 그리고 22-26, 7.1-7.4로서 재료(I)은 최적 수준보다 낮고 재료(II)는 수준 범위 내에 있었다.

한편, 분해과정 3주간이 경과된 후의 수분은 큰 변동이 없이 적정수준범위 (56-61%)내에 있고, 탄질비는 재료 I 은 17-18, 재료 II는 20-22이고 수소이온농도는 7.1-7.6범위를 유지하고 있었다.

0.2cm이하 미세립 입경 분포는 초기 상태가 재료(I)에서 54-59%, 재료(II)가 60-61%이고 분해종말점에서는 각각 66-67%와 62-69%를 나타내고 있었다. 습량 기준 밀도는 재료(I)과 재료(II)의 초기 및 분해처리 후에 각각 524-540kg/m³에서 510-524kg/m³로, 518-529kg/m³에서 446-462kg/m³로 변화 되었다. 이와 같은 이화학적 성상의 변동으로서 재료(II)가 재료(I)보다 퇴비화 효율이 높다는 것을 알수가 있었다.

재료(I)(반응조 1과 2) 및 재료(II)(반응조 3과 4)의 분해기간의 퇴비재료의 층위별 온도변화(그림 2)에서 볼 때 연속 통기 처리의 온도변화(Hong, 1998)에 비하여 온도의 고저차이가 현저히 저하됨을 알수 있었다. 이러한 현상은 연속 통기의 냉각 현상이 일어나지 않음을 나타내고 있기 때문이라고 판단 되었다.

한편, 재료(I)과(II)의 분해 초기 상태의 온도변화를 보면 분해 2일째에 전자는 38-46℃를 후자는 57-58℃로서 재료(II)가 재료(I)보다 적정 온도를 조기에 진입 하였으며 또한, 초기상태 탄산가스 배출농도변화(그림 3)는 재료(I)은 5일째 부터 13일째 사이에 재료(II)는 첫째 날부터 5일째까지가 5%전후의 큰 변동을 보였다. 이와 같은 퇴비 온도와 탄산가스농도의 변화로서 퇴비화 성능은 재료(II)가 재료(I)보다 우수하다는 것을 알수 있었다. 따라서, 동일한 재료의 적정 수분 범위내에서 퇴비화 성능은 탄질비(20-40)와 수소이온농도(7-8)등이 퇴비화 분해 과정의 퇴비화 소요기간에 영향을 크게 미치고 있다는 사실을 알수 있었다.

그림 4의 통기량 변동, 평균 퇴비온도 및 암모니아 가스농도 변화에서 재료(I)보다 재료(II)가 퇴비화 온도, 암모니아 농도 상태가 양호한 변화를 나타내고 있어 퇴비화 성능에 좋은 영향을 주고 있었다. 재료(I)은 통기량 범위가 0.11-0.47 L/min. kgDM 이고 재료(II)는 0.09-0.98 L/min. kgDM 로서 재료(I)은 대체로 0.1-0.15 L/min. kgDM을 재료(II)는 3일째 최고 1.0 L/min.

kgDM을 나타내고 이 후에는 0.1 L/min. kgDM을 유지하고 있었다. 퇴비온도 변화 역시 재료(II)가 재료(I)보다 적정 온도 수준(45-65℃) 범위 유지가 신속하고 큰 변동이 없었다. 이러한 이유는 퇴비화 재료의 초기 탄질비와 수소이온농도가 적정 범위를 유지 했기 때문이라고 판단 되었다.

그림 4의 평균 퇴비온도와 암모니아 가스 농도 변동에서 재료(I)의 최고 암모니아 가스 농도는

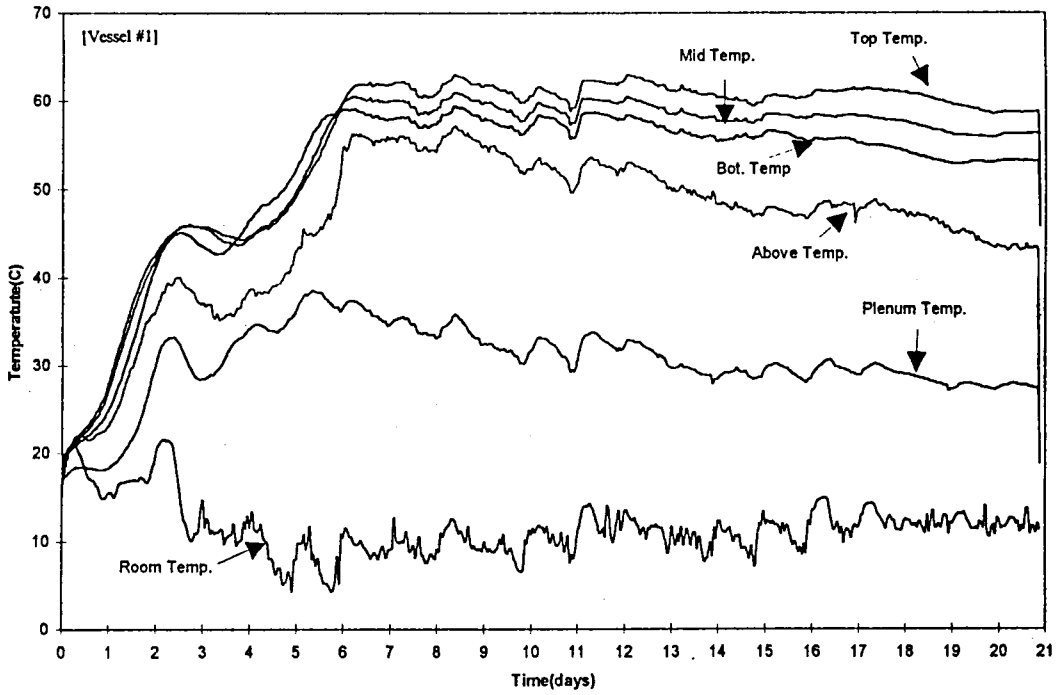


Fig. 2A. Change in compost temperature at various locations using an intermittent aerated composting high rate process - Test(I).

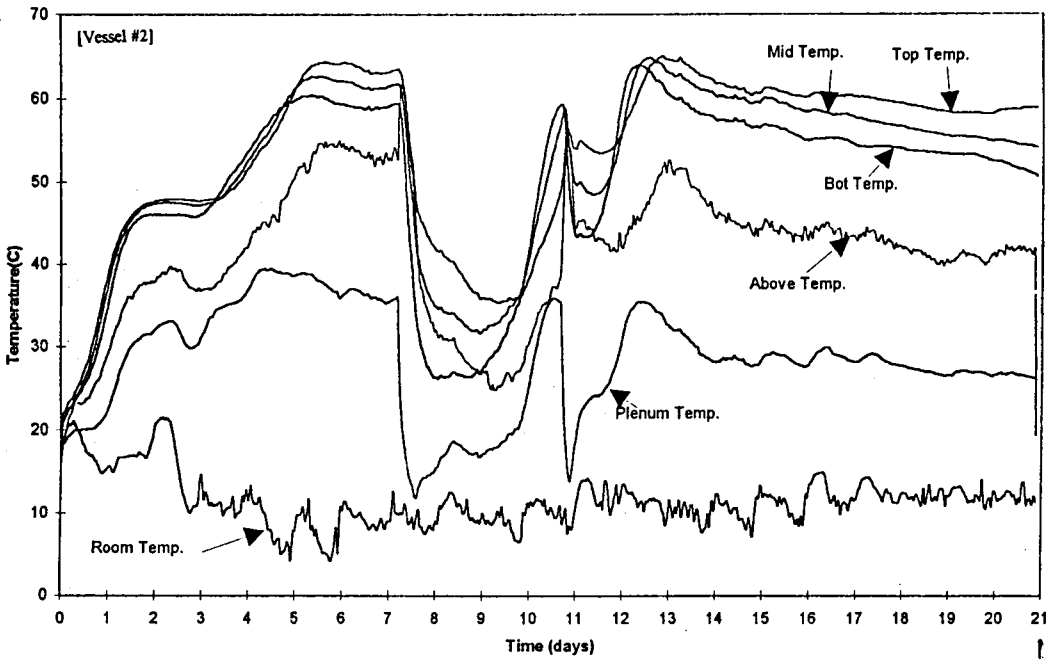


Fig. 2B. Change in compost temperature at various locations using an intermittent aerated composting high rate process - Test(I).

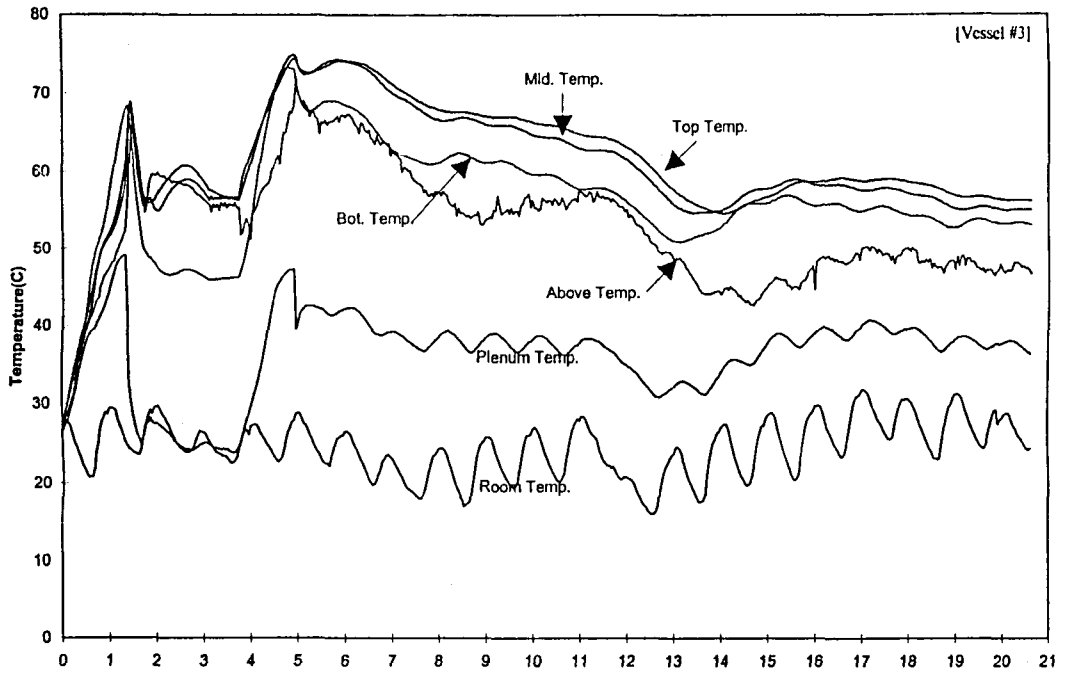


Fig. 2C. Change in compost temperature at various locations using an intermittent aerated composting high rate process - Test(II).

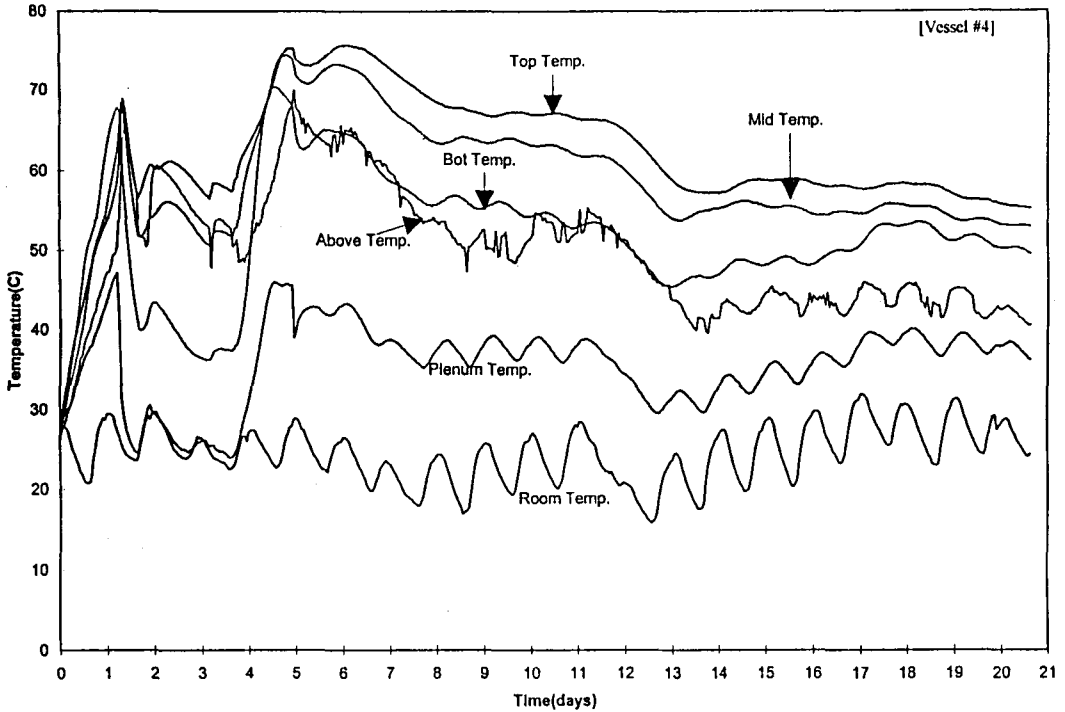


Fig. 2D. Change in compost temperature at various locations using an intermittent aerated composting high rate process - Test(II).

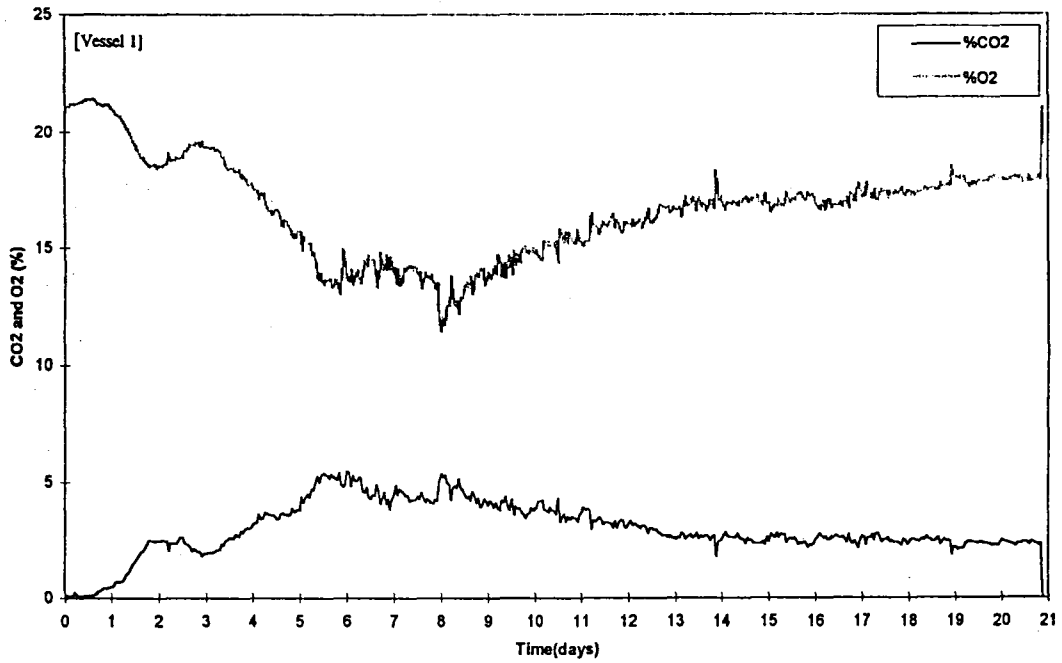


Fig. 3A. Oxygen and carbon dioxide histories obtained during the intermittent aerated composting high rate process - Test(I).

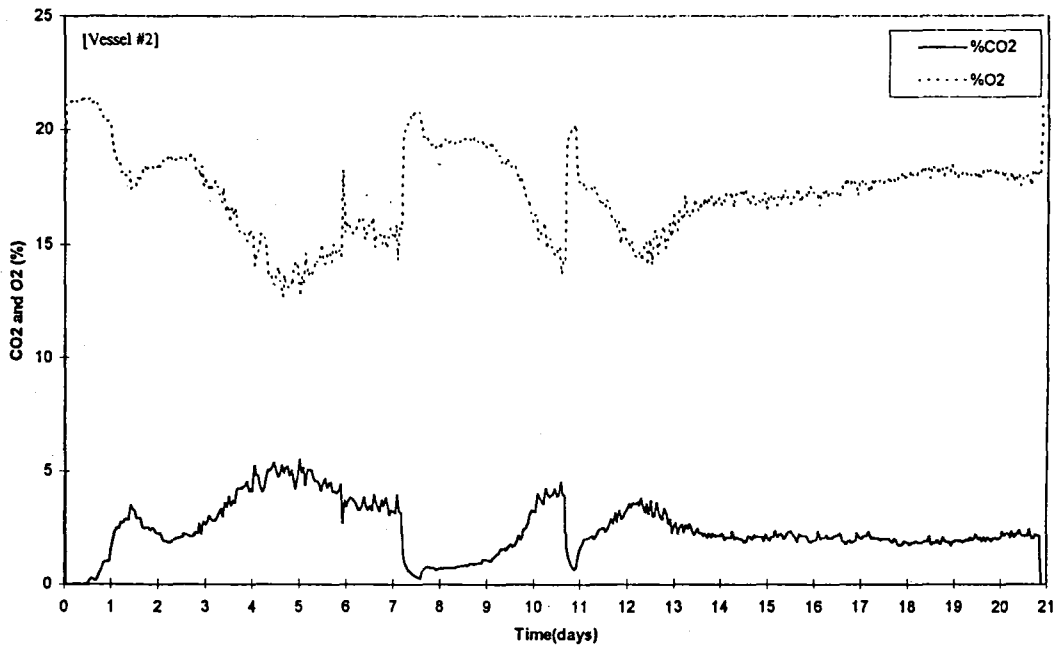


Fig. 3B. Oxygen and carbon dioxide histories obtained during the intermittent aerated composting high rate process - Test(I).

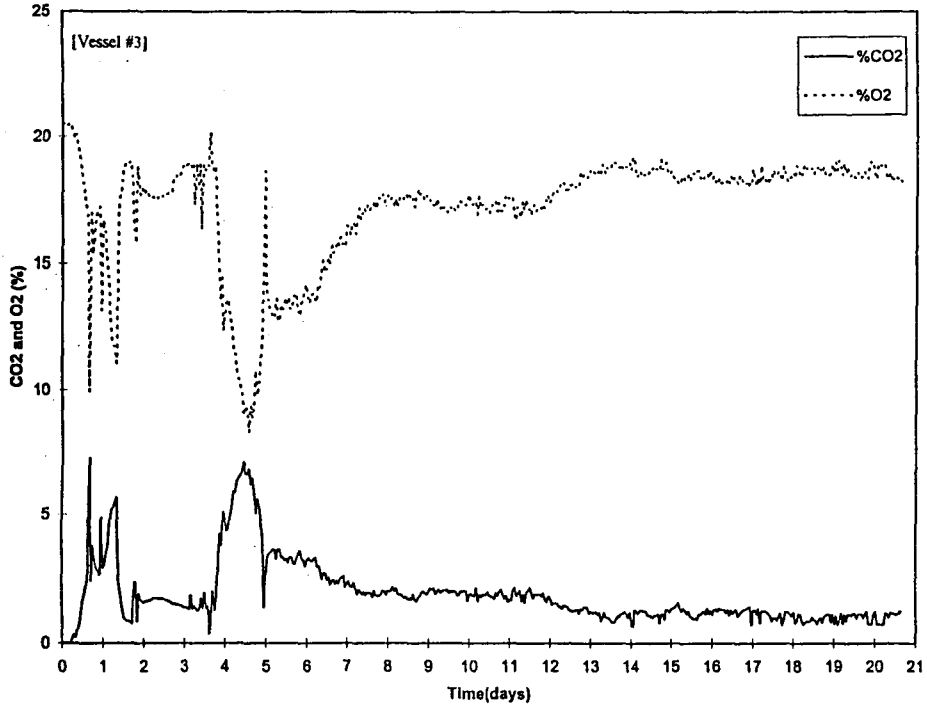


Fig. 3C. Oxygen and carbon dioxide histories obtained during the intermittent aerated composting high rate process - Test(II).

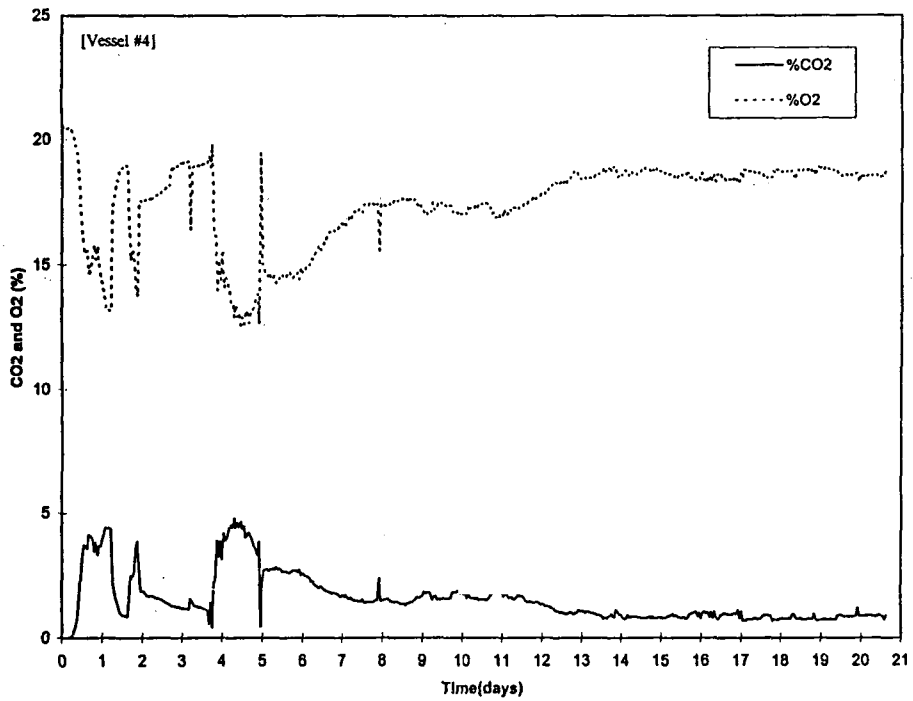


Fig. 3D. Oxygen and carbon dioxide histories obtained during the intermittent aerated composting high rate process - Test(II).

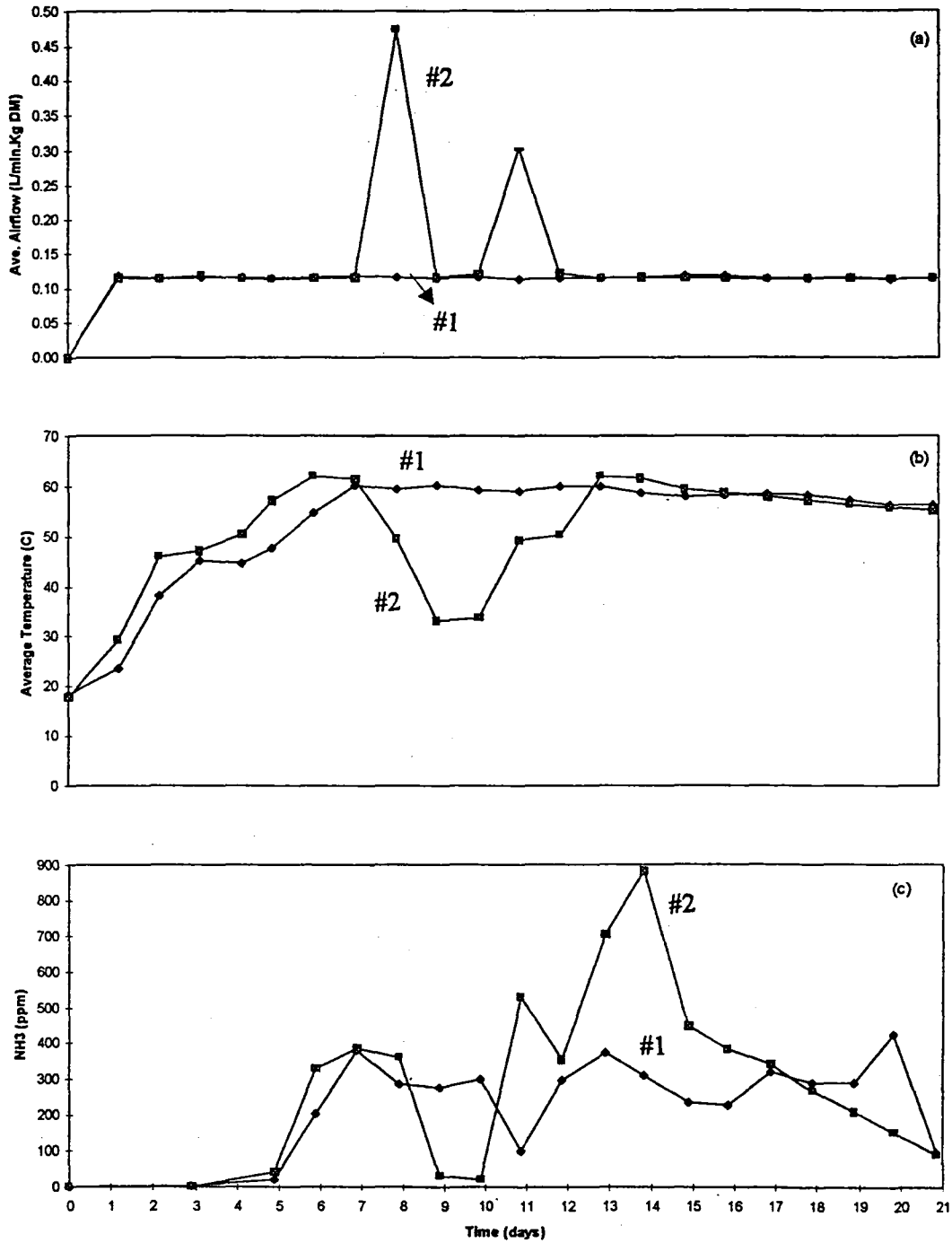


Fig. 4A. Graphical records of average airflow rates, average compost temperatures and ammonia concentrations during the intermittent aerated composting decomposition - Test(I).

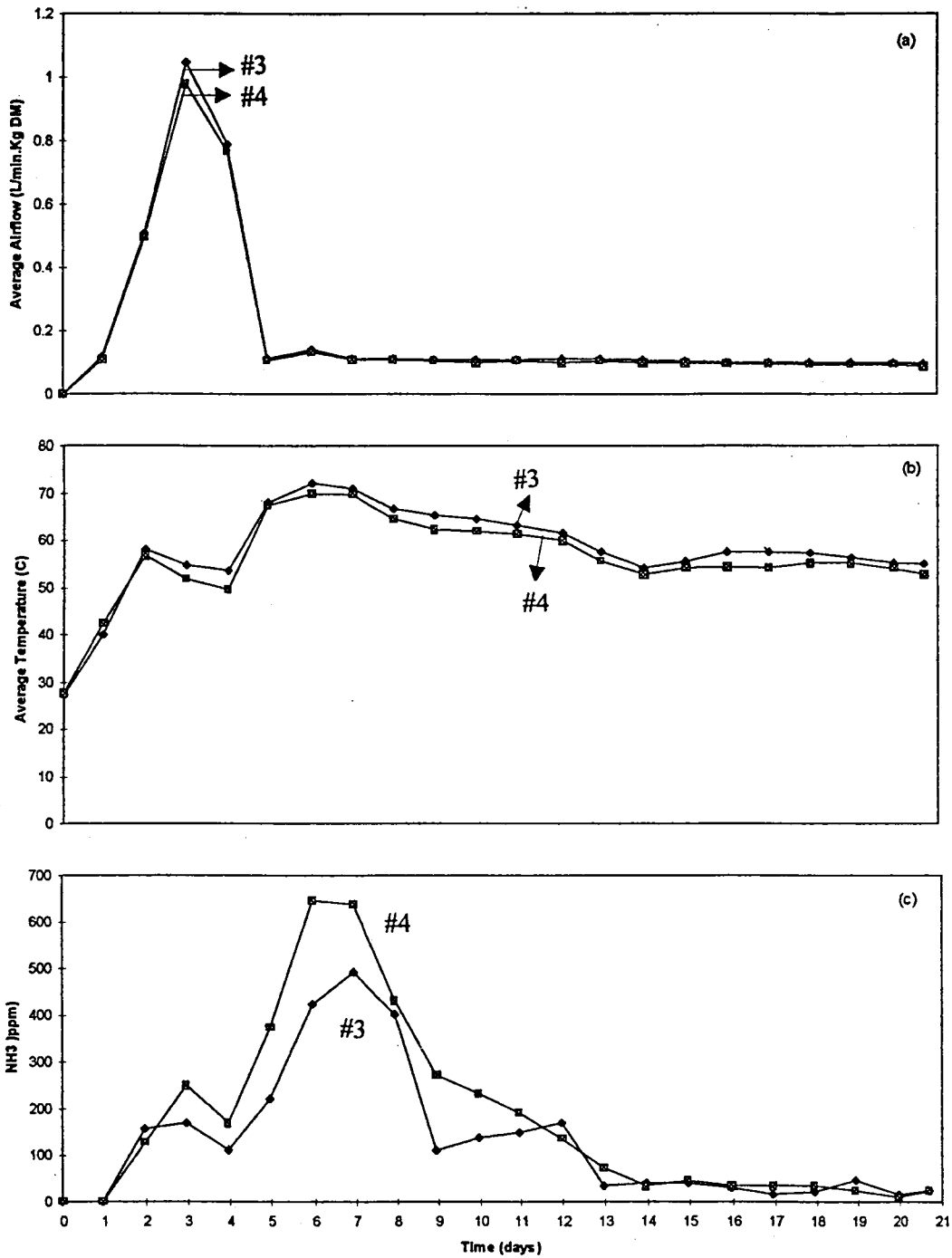


Fig. 4B. Graphical records of average airflow rates, average compost temperatures and ammonia concentrations during the intermittent aerated composting decomposition - Test(II).

427-702 ppm이고 온도는 56-62℃이며, 3주째에는 91-97 ppm이고 55-56℃를 나타내 보였다. 한편, 재료 (II)는 최고 암모니아 농도가 493-639 ppm (7일째)로서 온도는 69-71℃였으며 14일째의 암모니아 농도는 34-40 ppm (온도는 53-54℃)의 상태로 최대 허용농도 50 ppm이하 (Midwest plan service, 1985)로 떨어졌고 3주째에는 24-26 ppm으로 안전가스농도 25 ppm수준 (ASAE, 1997)상태로 유지 되었다. 이와 같은 현상을 볼때에 암모니아 가스 농도는 통기 방식 보다는 재료의 초기 탄질비와 수소이온농도에 더 큰 영향을 받는다는 사실을 알수 있었다. 재료 (II)의 경우에 연속 통기와 간헐 통기 퇴적식 퇴비화를 비교 할 때에 암모니아 가스 농도는 연속 통기(Hong, 1998)의 경우보다 간헐 통기로 인한 60℃이상의 온도 상승으로 인하여 가스 농도와 발생 기간이 다소 많고 길었다. 한편 재료 (I)의 경우에 연속 통기(Hong, 1998)와 간헐 통기를 비교할 때 암모니아 가스 농도는 간헐 통기 방식이 다소 적게 나타나는 경향을 알수 있었다.

결론적으로, 분해과정을 신속하게 처리하고 암모니아 가스 농도를 적게 하기 위해서는 수소이온농도가 7-8이며 탄질비가 적정 범위 20-40정도가 되어야 하며 적정 수분(55-65%)하에서 초기 재료 성분이 유지되고 퇴비 온도는 60℃이하가 되게 통기량을 조절하고 미세립경 분포(0.2cm이하)가 60% 내외가 되도록 하는 것이 바람직 하였다.

4. 결 론

가축 분뇨, 농림축수산물 가공 처리 잔사, 음식쓰레기등의 유기성 폐기물의 상업용 퇴비화 처리 시스템의 분해 과정에서 퇴비화 능률 향상과 암모니아 휘산을 저감하려는 연구의 일환으로서, 파이로트 규모의 간헐 통기 퇴적식 퇴비화 반응조를 설계, 제작하고 그 성능을 분석하였다. 돈분과 톱밥의 혼

합재료의 초기 탄질비와 수소이온 농도를 달리하여 간헐 통기 퇴적식 퇴비화 처리의 분해과정에 있어서 퇴비화 온도, 산소 흡수와 탄산가스 배출농도, 통기량 변동, 퇴비 재료의 평균 온도 변화, 및 암모니아 가스 농도등의 변동을 조사하였다. 퇴비화 성능은 퇴비 온도와 탄산가스 농도 변화, 재료의 초기 조건에 따른 암모니아 가스 농도와 기간을 분석함으로써 판단 하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 적정 수준의 재료에서는 간헐 통기 퇴비화 3주째에 암모니아 가스 농도가 24-26 ppm으로서 안전 가스 농도(25 ppm)수준을 유지하고 있었으나 적정 수준이하의 재료는 91-97 ppm으로 하여 최대 허용농도(50 ppm)이상으로 유지하여 분해과정 배기가스의 탈취 처리가 필요 하다고 판단 되었다.
2. 분해과정의 퇴비화 온도 변화는 매우 만족스러웠으며 최적 작동 조건은 분해 초기의 퇴비 온도가 적정 범위를 유지하기 위하여 수소이온농도가 7-8이 바람직하고 탄질비가 20-40, 퇴비 온도 상한선은 암모니아 가스억제와 질소손실을 감소하기 위하여 60℃이하로 유지해야 된다고 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 한국과학재단의 한미간 중견 과학자 교류 사업의 일환으로 수행된 연구의 일부임.

저자는 오하이오대학 농업연구개발센터의 식품, 농업 및 생물공학과 대학원생 및 직원 등의 협조에 대해 진심으로 감사 드립니다.

참 고 문 헌

ASAE Standards (44th Ed.). (1997), .S319.3 Methods of determining and expressing fineness of feed materials by sieving & EP

- 470 Manure storage safety. St Joseph, MI.
- Composting Council (1994), Composting Facility Operating Guide. The Composting Council, Alexandria, Virginia.
- Elwell, D. L., Keener, H. M., Hointink, H. A. J., Hansen, R. C. and Hoff J. (1994), "Pilot and Full Scale Evaluations of Leaves as an Amendment in Sewage Sludge Composting". Compost Science and Utilization Vol. 2, No. 2, pp. 55-74.
- Hansen, R., K. Mancl, H. M. Keener and H. A. J. Hoitink. (1995), "The Composting Process- A natural way to recycle wastes". The Ohio State Univ., Ohio State University Extension.
- Haug, R. T. (1993), "The Practical Handbook of Compost Engineering", Lewis Publishers, CRC Press Inc., Boca Raton.
- Hong, J. H., K. J. Park, B. K. Shon and W. M. Yang. (1996), "Ammonia Emission During Intermittent Aeration Composting of Dairy Manure and Rice Hulls Mixtures. In : Agricultural Waste Composting & Biothermal Energy Utilization". Ministry of Agriculture & Forestry in Korea, Seoul. pp. 133-143.
- Hong, J. H. (1994), "Controlling Factors in Open Composting Process". Proc. of the 12th world congress on agricultural engineering, Vol.2 pp. 1533-59.
- Hong, J. H. (1998), "Performance of a Continuous Aerated Pilot-scale Reactor Vessel for Commercial Composting". Unpublished thesis. Suncheon National University, Suncheon, Korea.
- Keeney, D. R. and Nelson, D.W. (1982), "Nitrogen-Inorganic Forms". pp. 643-698. In : A. L. Page et al.(Eds.), Methods of soil analysis, Part 2, American Society of Agronomy, Madison.
- Marugg, C. (1992), "Handbook of Analysis Procedures for Compost Laboratory Data". Dept. of F.A.B.E., OARDC/OSU, Wooster, OH.
- Matsuda, J. (1987), "Forced Air for Compost Making". Farming Mechanization, 2839 pp. 13-15.
- Midwest Plan Service (1985), "Livestock Waste Facilities Handbook", MWPS-18. Iowa State University, Ames, Iowa.